This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

HW 2761 A

War
5158.02

KE730

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

MÉMORIAL

DE

L'OFFICIER DU GÉNIE.

N°. 10.

Traité des Siéges et de l'attaque des places, par M. le maréchal de Vauban ; nouvelle édition, entièrement conforme au manuscrit présenté par l'auteur au duc de Bourgogne, publiée avec l'autorisation du ministre de la guerre, par M. Augoyat, chef de bataillon du génie ; 1 vol. in-8°., avec 33 planches.

Traité de la Défense des places, par le maréchal de Vauban ; nouvelle édition, augmentée des agenda du maréchal sur l'attaque et la défense, et de ses notes critiques sur le discours de Deshoulières relatif à la défense ; publiée avec l'autorisation du ministre de la guerre, par M. le baron de Valazé, maréchal de camp du génie ; 1 vol. in-8°. avec 16 grandes planches.

Prix des deux ouvrages, pour les officiers des corps royaux de l'artillerie et du génie : 18 francs ; 8 fr. l'attaque, 10 fr. la défense. Paris, 1829, chez Anselin, libraire, rue Dauphine, n°. 9.

MÉMORIAL

DE

L'OFFICIER DU GÉNIE,

OU

Recueil de Mémoires, Expériences, Observations et Procédés généraux propres à perfectionner la fortification et les constructions militaires.

RÉDIGÉ PAR LES SOINS DU COMITÉ.

AVEC L'APPROBATION DU MINISTRE DE LA GUERRE.

N°. 10.

PARIS,
IMPRIMERIE DE FAIN, RUE RACINE, N°. 4.

1829.

KE 730
War5158.03

DEGRAND FUND

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE X^e. NUMÉRO DU MÉMORIAL.

Pages.

Prix d'encouragement; extrait des registres du comité du génie 1

Note du comité, sur les extraits des comptes rendus des travaux exécutés dans les places. . 7

Notice sur les ouvrages exécutés a Dunkerque, de 1822 à 1828, pour la fermeture de la place, sur les deux rives du chenal et sur le canal de la cunette des Moëres, par M. le lieutenant-colonel du génie Michaud. 11

Notice sur l'exécution de la nouvelle charpente de m. le colonel Émy, au quartier de cavalerie de Libourne, par M. le capitaine du génie Chaybou. 31

Mémoire sur la construction d'un barrage éclusé, dans la place et sur la rivière de Raab en Hon-

Pages.

grie, pendant la campagne de 1809, *par M. le chef de bataillon du génie* DELURET. 53

MÉMOIRE SUR UN MODE PARTICULIER DE REVÊTEMENT, pour les ouvrages de fortification permanente, par M. le lieutenant-colonel du génie P. BERGÈRE. 69

EXTRAIT D'UNE NOTICE faite par M. le lieutenant-colonel BUREL, *sur les niveaux à réflexion de son invention.* 105

NOTE SUR LA MACHINE A DÉFILER DE M. DE BELLONNET, chef de bataillon du génie, par M. le capitaine du génie ALPHONSE BODSON DE NOIRFONTAINE. 113

MÉMOIRE SUR LES PONTS DE CORDAGES CONSTRUITS A METZ EN 1827, *par M. le capitaine du génie* ALPHONSE BODSON DE NOIRFONTAINE. 119

NOTICE SUR UN PONT-LEVIS A BASCULE MOUVANTE, EXÉCUTÉ DANS LA PLACE DE MONS, EN BELGIQUE, d'après le mécanisme imaginé par M. le lieutenant-colonel P. BERGÈRE. *Extraite du cours de machines fait à l'école d'application à Metz, par M. le capitaine du génie* PONCELET. 175

NOTE SUR UN MOYEN PRATIQUE DE RÉGLER LES PONTS-LEVIS A FLÈCHE, par M. le capitaine du génie J.-J. LEBLANC. 179

NOTE SUR UNE LISSE MOBILE ADAPTÉE AU PONT-LEVIS DU CHATEAU DE BELFORT, par M. le capitaine du génie DE L'ESTOILE. 185

MÉMOIRE SUR L'EMPLOI DES MACHINES A VAPEUR POUR LES MANŒUVRES D'EAU ET LES TRAVAUX DES PLACES,

Pages.

par M. le capitaine du génie Belmas, *aide-de-camp du lieutenant-général* Rogniat. 189

Instruction sur la plantation et la culture des arbres dans les terrains militaires. Cette instruction, extraite du devis général des ouvrages militaires de la place de Verdun, a été rédigée par M. le capitaine du génie Piérard. 309

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA.

DU 10e. NUMÉRO DU MÉMORIAL DE L'OFFICIER DU GÉNIE.

Pages.	Lignes.	
3,	5, en remontant,	*au lieu de* nouveau, *lisez* niveau.
22,	16,	*au lieu de* $\frac{}{10}$ *lisez* $\frac{1}{10}$.
28,	6, en remontant	*au lieu de* exempte, *lisez* exempt.
55,	4, en remontant	*au lieu de* travalé, *lisez* travaillé.
58,	8, 9,	*au lieu de* rempli, *lisez* remplit.
123,	12,	*après les mots* préjugés défavorables, *ajoutez*, de quelques personnes.
166,	17,	*au lieu de* ce pont avait près de 17^m, oo de largeur, *lisez* ce pont avait près de 17^m, oo de portée et 4^m, oo de largeur.
206,	16,	*au lieu de* donner *lisez* lui donner.
220,	17,	*au lieu de* changer *lisez* charger.

MÉMORIAL

DE

L'OFFICIER DU GÉNIE.

PRIX D'ENCOURAGEMENT.

EXTRAIT DES REGISTRES DU COMITÉ DU GÉNIE.

Séances des 11 *et* 21 *février* 1828.

Le 11 février 1828, le président informe le comité qu'antérieurement au 15 octobre 1827, terme de rigueur, il a reçu cinq mémoires destinés à concourir pour les prix d'encouragement qui, en vertu de la décision ministérielle du 24 août 1822, sont offerts chaque année aux officiers du génie.

Ces cinq mémoires traitent :

1°. D'un niveau, dit *niveau réflecteur*, inventé par l'auteur du mémoire, et propre à remplacer le niveau d'eau ordinaire;

2°. De recherches sur la stabilité des batardeaux;

3°. De la détermination des minima relativement aux places fortes que doivent élever les états;

4°. De la loi que suivent les pressions exercées par les corps pesans;

5°. De l'établissement des ponts en cordage.

Le comité entend un rapport détaillé sur le contenu de chacun de ces mémoires, et, sur la proposition d'un de ses membres, arrête : que, conformément à ce qui a eu lieu l'année précédente, le rapport et les pièces du concours seront renvoyés à l'examen d'une commission de trois membres.

Le 21 février, le comité entend le rapport de cette commission, et, conformément à ses conclusions, il reconnaît :

1°. Que le mémoire n°. 4 ne traite que d'une question purement scientifique, qui ne se rattachant qu'indirectement à l'art des constructions, n'est réellement qu'une dissertation mathématique, tandis qu'aux termes de la décision ministérielle, insérée dans le n°. 5 du Mémorial de l'officier du génie, le concours est ouvert entre les mémoires qui présenteront des vues et des découvertes utiles sur l'une des branches de l'art de l'ingénieur; d'où il résulte que, le mémoire n°. 4 ne satisfaisant pas pleinement aux conditions de ce concours, l'auteur de ce mémoire doit être engagé à le retirer;

2°. Que le niveau réflecteur qu'accompagne et explique le mémoire n°. 1 pourra être employé utilement, et que l'idée ingénieuse sur laquelle son mécanisme est fondé, ainsi que les applications qu'on peut en faire dans diverses opérations topographiques dont l'exécution devrait être rapide,

recommandent cette invention, qu'il paraît convenable de faire connaître aux officiers du génie;

3°. Que le mémoire sur les ponts de cordage traite un sujet utile et susceptible d'heureuses applications; mais que ce mémoire, qui paraît avoir été rédigé un peu à la hâte, est très-incomplet et n'entre pas dans la considération de toutes les circonstances qui influent sur les calculs relatifs à ces sortes de constructions; que cependant l'auteur, d'après les recherches qu'il a déjà faites, paraît plus propre qu'un autre à compléter un travail qu'il serait avantageux de pouvoir insérer dans le Mémorial, et qu'à cet effet il doit être invité à faire retirer son mémoire, à le compléter et à le reproduire avec les perfectionnemens dont il est susceptible pour l'un des concours subséquens;

4°. Que les autres mémoires présentés au concours, *bien qu'ils* annoncent dans leurs auteurs un esprit de recherche et d'étude auquel on doit applaudir, sont néanmoins, dans l'ordre de leur mérite relatif, ou au moins de leur utilité pratique en ce qui se rapporte au métier de l'ingénieur, inférieurs au mémoire n°. 1.

D'après cet exposé, le comité est d'avis :

1°. Qu'il soit accordé un second prix à l'inventeur du nouveau réflecteur, auteur du mémoire n°. 1;

2°. Qu'il soit exécuté, par les soins du directeur du dépôt des fortifications, trois niveaux réflecteurs, pour être envoyés dans chacune des trois écoles ré-

gimentaires, à l'effet d'y être immédiatement éprouvés dans des opérations topographiques étendues et variées, afin de donner occasion d'apprécier l'utilité pratique dont son usage pourrait être, et de reconnaître les perfectionnemens que l'expérience pourrait y apporter;

3°. Que le mémoire explicatif, et les dessins relatifs à ce niveau, soient insérés au prochain numéro du Mémorial de l'officier du génie.

Le président, ayant ouvert le billet annexé au mémoire n° 1, annonce au comité que l'invention du niveau réflecteur est due au lieutenant colonel du génie Burel, auquel, en vertu de l'avis ci-dessus énoncé, un deuxième prix doit être accordé.

Approuvé par le ministre le 3 mars 1828.

Séance du 24 décembre 1828.

Le comité entend le rapport d'une commission prise dans son sein, et chargée par lui de l'examen des mémoires adressés pour concourir aux prix d'encouragement qui, en vertu de la décision ministérielle du 24 août 1822, sont offerts chaque année aux officiers du génie.

Ces mémoires sont au nombre de quatre.

Le premier, intitulé *Note sur les analyses*, contient diverses recherches sur les mouvemens de terre, et quelques renseignemens sur les pierres à bâtir, la chaux, le sable et les bois de charpente et de menuiserie.

Le second mémoire présente un nouveau mode de revêtement des fortifications, que l'auteur propose de faire en pisé, en renfermant ce pisé dans une espèce d'enveloppe en maçonnerie.

Le troisième mémoire traite de la manière de conduire les sapes. L'auteur propose de substituer un mantelet, dont il adresse le dessin, au gabion farci, à l'abri duquel il fait une sape volante avec des sacs à terre à moitié remplis. Il traite aussi des descentes blindées et des passages de fossés pleins d'eau.

Le quatrième mémoire traite des améliorations à faire au système de Cormontaingne. L'auteur a procédé dans cette recherche en faisant d'abord un projet d'attaque contre le système complet de Cormontaingne, et en substituant successivement aux dispositions de ce système les modifications qui lui ont paru les plus propres à la marche de cette attaque.

Tout ce travail est fondé sur ce principe, soutenu et développé par l'auteur, que toute amélioration apportée à la fortification donne lieu, dans l'attaque, à un surcroît de difficultés qu'une marche méthodique peut surmonter dans un temps qu'il est possible d'évaluer; Qu'ainsi, au moyen de journaux de siéges comparatifs, on peut estimer l'influence d'une disposition quelconque sur la durée de la défense, et par suite apprécier son mérite relatif par le temps de sa résistance comparé à la dépense qu'elle occasione.

Le comité, conformément au rapport de sa commission, remarque :

1°. Que le dernier mémoire, qu'accompagnent des dessins explicatifs, est rédigé avec beaucoup de soin, de clarté et d'intelligence; que l'auteur a heureusement combiné les divers perfectionnemens déjà proposés au système de Cormontaingne, et a eu de plus le mérite de s'être attaché à déterminer la valeur réelle des changemens indiqués;

2°. Que les autres mémoires présentés au concours, et particulièrement celui sur les sapes, sont un témoignage de l'esprit de recherche et d'étude qui anime leurs auteurs, et auquel le comité s'empresse d'applaudir; mais que cependant, dans l'ordre de leur mérite relatif, ils sont inférieurs au mémoire qui traite des amélioratious dont le système de Cormontaingne est susceptible.

D'après cet exposé le comité est d'avis :

1°. Qu'il soit accordé un second prix à l'auteur du mémoire n°. 4 sur les améliorations dont le système des fortifications de Cormontaingne est susceptible;

2°. Que les trois autres mémoires, si leurs auteurs ne préfèrent les retirer, soient déposés aux archives du dépôt des fortifications pour y être consultés au besoin.

Le président, ayant ouvert le billet annexé au mémoire n°. 4, annonce au comité que l'auteur de

ce mémoire est le capitaine du génie Viquesnel, aide-de-camp du général Fleury.

Approuvé par le ministre le 25 decembre 1828.

Pour extrait conforme :

L'inspecteur général du service du génie, président,

Signé ROGNIAT

Le colonel du génie, secrétaire du comité,

Signé LAMY.

Le comité ayant arrêté, dans sa séance du 11 mars 1829, que l'on insérerait à l'avenir dans le Mémorial de l'officier du génie des extraits des comptes rendus des travaux exécutés dans les places, lorsque ces travaux présenteraient de l'intérêt sous le rapport de l'art des constructions, a approuvé le choix de quelques notices pour faire partie du 10e. numéro du Mémorial. La note suivante a pour objet de faire connaître à MM. les officiers du génie les intentions du comité à ce sujet.

NOTE.

Les officiers du génie qui ont l'avantage d'être chargés de travaux un peu importans sous le rapport de la difficulté que présentent ces travaux, ou des sommes qui y sont affectées, acquièrent des connaissances pratiques, qui, le plus souvent, ne peuvent profiter qu'à ces officiers seuls, et sont perdues pour tous les autres, parce que, jusqu'à présent,

personne dans le corps du génie n'a été chargé spécialement de rassembler les résultats d'expérience et de les consigner dans un recueil que l'on pourrait consulter au besoin. Le Mémorial avait été primitivement institué principalement pour cet objet, que diverses circonstances ont fait perdre de vue. Il est arrivé de là que dans telle place on est encore occupé de recherches ou de difficultés qui ont déjà excité l'attention des officiers d'une autre place et dont ils ont trouvé les solutions. Il y a ainsi, dans beaucoup d'occasions, perte de temps et argent mal employé. Pour obvier à ces inconvéniens, on destinera à l'avenir une partie du Mémorial à la publication de ces résultats pratiques : ce sera le moyen le plus simple et le plus assuré de faire servir l'expérience de quelques ingénieurs à l'instruction de la masse.

L'article 4 de l'instruction sur le service du génie prescrit bien aux chefs du génie de joindre au compte sommaire des travaux exécutés pendant l'exercice précédent, des observations relatives à l'art des constructions auxquelles ces travaux ont pu donner lieu ; mais presque toujours ces comptes rendus ne sont pas assez détaillés pour qu'on puisse en tirer un parti utile. Il serait donc nécessaire que les officiers du génie voulussent bien communiquer au comité tout ce qu'ils croiront de nature à intéresser leurs camarades et à les guider dans leurs travaux. C'est surtout de la part des officiers qui sont chargés de quelque grande construction qu'on

est en droit d'attendre ces documens, qui contiendraient l'abrégé historique des travaux, avec l'indication des difficultés qui se seront présentées, des moyens employés pour les surmonter, des accidens survenus, de leurs causes présumées, des prix d'estimation, des dépenses réelles, etc.; on y joindrait au besoin quelques dessins. Les écoles régimentaires pourraient également fournir des matériaux précieux pour le Mémorial, dans le compte rendu des expériences et travaux faits par les régimens du génie.

NOTICE

SUR

LES OUVRAGES EXÉCUTÉS A DUNKERQUE,

DE 1822 A 1828,

POUR LA FERMETURE DE LA PLACE, SUR LES DEUX RIVES DU CHENAL ET SUR LE CANAL DE LA CUNETTE DES MOERES.

Par M. MICHAUD, Lieutenant-Colonel du génie.

Les ouvrages exécutés de 1822 à 1825 ont consisté principalement en deux murs de profil, élevés sur les deux rives du chenal, pour soutenir les extrémités des terrassemens de l'enceinte, et compléter la fermeture de la place, en temps de siége, au moyen de chaînes tendues de l'un à l'autre en travers du chenal.

Ceux exécutés en 1827 et 1828 sur la cunette des Moëres, pour réunir les deux parties de l'enceinte, qu'elle séparait, ont consisté en une porte d'eau, deux portes de terre et deux batardeaux, pour séparer la cunette des fossés de la place.

On fera connaître le plus succinctement possible

ce que ces différentes constructions ont offert de plus digne de remarque.

Profil en maçonnerie sur la rive gauche du chenal.

Le mur de profil, sur la rive gauche du chenal, avait une longueur de 41 mètres dans le sens de sa direction, et se liait à un mur d'enceinte crénelé, construit les années précédentes, avec porte de ville, casemates et corps de garde voûtés à l'épreuve. Il devait être fondé à 1^{m}, 70 au-dessous des basses mers de vive eau, qui descendent de la cote 100^{m}, 17 à la cote 105^{m}, 30, afin que le dessous des fondations fût au moins 1^{m} plus bas que le fond du chenal, qui est entre les cotes 105^{m}, 50 et 106^{m}, 00. Cela fixait le fond des fondations à la cote 107^{m}, 00, et comme le parapet de l'enceinte est à la cote 89^{m}, 50, il en résultait pour ce profil une hauteur verticale de 17^{m}, 50, ce qui paraît être un des murs les plus élevés qu'on soit dans le cas de construire en fortification.

La profondeur à laquelle devaient descendre les fondations au-dessous des plus basses eaux, ainsi que la nature du sol, qui est un sable d'une ténuité extrême, ne permettaient pas de les faire autrement que dans un encaissement ayant en longueur, largeur et profondeur les dimensions qu'elles exigeaient.

On avait compté pouvoir faire à la drague les

déblais de l'encaissement, et fonder ensuite en maçonnerie de béton ; mais, les terres s'étant trouvées mêlées de beaucoup de décombres et de fascinages, restes d'anciennes constructions, on fut dès l'abord obligé d'y renoncer.

Le déblai des terres et les maçonneries des fondations devant en conséquence se faire au moyen des épuisemens, il s'agissait d'assigner à la partie supérieure de l'encaissement une hauteur telle, au-dessus des plus basses mers, que, sans ajouter beaucoup au volume des eaux à épuiser, la durée du travail de chaque marée se trouvât augmentée dans une proportion plus grande, par le temps que la mer ascendante mettrait à atteindre le bord supérieur du coffrage : au lieu donc de l'arrêter au niveau des basses mers, à la cote $105^{m}, 30$, on le porta à $0^{m}, 80$ au-dessus, à la cote $104^{m}, 50$, qui fut en même temps celle de la retraite et du commencement de la nette maçonnerie.

L'encaissement eut ainsi une profondeur de $2^{m}, 50$, sur une largeur de 6^{m}, dans une grande partie de sa longueur.

Aussitôt que les déblais furent descendus à cette cote, on mit à la fois en activité toutes les sonnettes que l'emplacement pouvait contenir, pour le battage des pilots et palplanches de l'encaissement. Les pilots espacés de deux mètres en deux mètres, de milieu en milieu, avaient 5^{m} de long sur le devant des fondations, et $4^{m}, 50$ sur le derrière ; et les palplanches, en bois d'orme de $0^{m}, 10$ d'épaisseur,

avaient les unes 4m et les autres 3m, 50 de longueur.

Ce battage effectué avec des moutons du poids de 450 kilogrammes, manœuvrés par vingt hommes, rencontra néanmoins les plus grandes difficultés, principalement pour les palplanches, quoique armées de sabots en fer. Rien n'est, en effet, moins compressible que le sable fin et humide, à mesure surtout qu'on atteint des couches plus profondes; et cela se conçoit aisément, si on fait attention au peu de vides que laissent entre elles des molécules aussi ténues, quand elles ont déjà été rapprochées par une première rangée de pilots.

Les palplanches étaient battues contre la face intérieure d'une ventrière assemblée à mi-bois et boulonnée sur la tête de chaque pilot, et fixées de distance en distance à cette ventrière par des chevilles en fer ébarbées.

Aussitôt que les difficultés et les longueurs apportées à l'établissement de l'encaissement par la nature du sol, et le peu de durée des marées pendant lesquelles le battage pouvait s'effectuer, eurent été surmontées, on se hâta d'en faire le déblai, en ne l'entreprenant cependant que sur une moitié à la fois, pour éviter de trop longs épuisemens, et en mettant en activité autant de chapelets que l'espace disponible en comportait.

Le nombre de ces chapelets, dont chacun était manœuvré par huit hommes avec un relai de la même force, était quelquefois porté jusqu'à six, afin de tirer tout le parti possible de la durée des

marées; dont les plus longues étaient rarement de plus de trois heures.

Le sol au fond du coffrage, à la cote 107^{m}, 00, se trouva être un sable pur sans aucun mélange, sur lequel on pouvait s'établir en toute sécurité.

La première assise des fondations fut formée d'une suite de blocs de pierre dure de Landrethun, grossièrement équarris, cubant de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$ de mètre cube : les vides laissés entre eux étaient aussitôt garnis de mortier et de petites blocailles. Sur cette première base furent ensuite établies une suite d'assises en blocailles de la même pierre, mais d'un poids tel qu'un fort manœuvre pouvait les mettre en place, maçonnées en mortier de chaux de Tournay et frasier de forge pulvérisé, et dont tous les vides étaient remplis de matériaux plus petits, chassés à la masse, de manière à faire du tout une masse aussi compacte que possible. Cette maçonnerie ainsi élevée jusqu'à 0^{m}, 50 au-dessous du bord supérieur du coffrage, fut ensuite arasée en maçonnerie de briques et de même mortier, pour recevoir la première assise du parement en pierre de taille, qui devait s'élever jusqu'au niveau de la haute mer.

Il y a une remarque essentielle à faire sur la nécessité d'employer de gros blocs pour la première assise dans ces espèces de fondations. Le sable, quoique très-compacte à cette profondeur, lorsqu'il est comprimé, se délaie néanmoins si facilement par l'eau qui jaillit de toutes parts, par l'aspiration des

chapelets, et par le piétinement des ouvriers, qu'il se trouve transformé à l'instant en une vase liquide dans laquelle tous les petits matériaux se noient et disparaissent à mesure qu'on les y jette, en sorte qu'on éprouverait les plus grandes difficultés pour y asseoir une maçonnerie en matériaux ordinaires. En commençant au contraire par de gros libages, le sol se trouve à l'instant comprimé et raffermi, et l'on peut ensuite élever en beaucoup moins de temps une maçonnerie plus homogène, plus compacte, et par conséquent plus solide.

L'importance des plus petits détails, dans un ouvrage de cette nature, et l'obligation de mettre à profit tout le temps dont les marées permettaient de disposer, rendirent continuellement la présence des officiers indispensable sur les travaux à toutes les marées, tant de nuit que de jour, pendant les deux mois qu'exigèrent les déblais et les maçonneries faites à mer basse.

Le temps est venu confirmer la confiance que devaient naturellement inspirer les soins apportés et la bonté des matériaux employés à cet ouvrage. Sept ans se sont écoulés depuis sa construction, et, quoique exposé d'un côté à la violence de la mer, et poussé de l'autre sur une hauteur de plus de 50 pieds par des massifs de terre entièrement rapportée, il n'a pas manifesté le plus petit mouvement dans les différentes parties qui le composent.

Profil sur la rive droite du chenal.

Ce profil, y compris un batardeau éclusé destiné à introduire les eaux de mer dans les fossés de la place, avait, comme celui de la rive gauche du chenal, une longueur totale de 41 mètres, et se liait à un mur crénelé, construit avec porte de ville, casemates et corps de garde voûtés à l'épreuve : il devait être fondé à la même profondeur et s'élever à peu près à la même hauteur que le premier.

Devant occuper le même emplacement que le quai en bois du port, il fallut, avant de pouvoir procéder au battage des pilots et palplanches de l'encaissement, arracher les pilots de ce quai, qui avaient de 36 à 40 pieds de long et environ 25 pieds de fiche. On fit usage pour cela de quatre vis en bois solidement établies sur le sol, et tournant au moyen de quatre leviers, manœuvrés simultanément par huit hommes, dans deux écrous en bois. Chaque pilot, recépé à 1^{m}, 50 au-dessus du sol, et traversé par un fort boulon reposant sur les deux pièces à écrous, était d'abord ébranlé, et forcé ensuite de s'élever par le mouvement d'ascension que leur imprimaient les quatre vis. Ce mécanisme, en usage dans le pays, paraît être tout à la fois le plus simple et le plus efficace qu'on puisse employer pour arracher des pilots d'aussi fortes dimensions.

Ce mécanisme se trouva néanmoins insuffisant contre quatre à cinq pilots, qui, ayant été fendus

par l'effort des boulons souvent pliés et même cassés, quoique de bon fer, et n'offrant plus aucune espèce de prise, durent être abandonnés, et furent recépés plus tard au-dessous du fond des fondations.

On trouva adhérente à la pointe des pilots arrachés qui avaient offert le plus de résistance, une masse plus ou moins considérable de sable, convertie en un grès très-dur par l'oxidation complète de leur sabot en fer; il ne fut dès lors plus douteux que la résistance de ceux qu'on n'avait pu arracher ne dût être attribuée à des masses de grès semblables, trop considérables pour permettre de la surmonter.

Les pilots, une fois soulevés de quelques pieds par le moyen des vis, étaient entièrement arrachés par un pied de chèvre, équipé à trois brins, et manœuvré par six hommes.

Toutes ces opérations, qui ne pouvaient avoir lieu qu'à mer basse, sur un terrain vaseux, et au milieu d'une foule d'obstacles, ne furent pas toujours sans de grandes difficultés, quoique cependant la marche des travaux ne s'en trouvât pas ralentie.

Le battage des pilots et palplanches de l'encaissement des fondations, les déblais des terres mêlées, comme celles de la rive gauche, des débris d'anciennes constructions, les épuisemens dans le coffrage, et les maçonneries des fondations, eurent lieu par les mêmes moyens, offrirent à peu près les mêmes difficultés, et furent exécutés avec les mêmes matériaux et par les mêmes procédés que pour le

profil sur la rive gauche. Le parement en pierre de taille du profil, et le bâtardeau éclusé, dans la construction duquel entrèrent des blocs de pierre de taille cubant un mètre cube, furent élevés dans la même campagne, celle de 1824, au-dessus des hautes mers, avec des amorces des murs d'escarpe et de contrescarpe qui devaient être exécutés l'année suivante.

Tel était l'état de ces ouvrages lorsqu'ils furent mis, même avant leur achèvement, à la plus forte épreuve, par la marée extraordinaire du 4 février 1825, qui, puissamment secondée par un vent violent du nord-ouest, s'éleva à plus de 2 mètres au-dessus des hautes mers ordinaires de vive eau, et causa des ravages considérables, tant sur la côte où elle détruisit une batterie et deux corps de gardes, que dans les fossés de la place.

La mer, entrant dans le fossé par l'écluse du bâtardeau qui n'avait pas pu être fermée avant l'achèvement du radier intérieur, détruisit une digue en terre, construite en travers de ce fossé, pendant la construction du batardeau, et, après avoir parcouru un espace de 700 mètres dans les fossés de la place, arriva jusque dans la cunette des Moëres, entraînant avec elle un pont à vannage, situé sur la rive gauche.

Les eaux, en se retirant, occasionèrent un affouillement dans le fossé à la jonction du mur d'escarpe, qui n'était que commencé, avec le batardeau, et ayant ensuite trouvé une issue en suivant une file

de palplanches d'équerre sur le batardeau (après qu'on eut cru devoir mettre les poutrelles à l'écluse), elles s'écoulèrent dans le chenal à marée basse, en passant sous les fondations à plus de 3 mètres au-dessous du fond du fossé. On se hâta alors d'enlever les poutrelles et de fermer le passage que les eaux s'étaient ouvert, en y jetant autant de chaux vive et de sable qu'il fut possible d'en faire entrer.

Une secousse aussi violente n'eut pas d'autres suites, et il ne se manifesta pas le moindre mouvement, ni dans le batardeau, ni dans le mur de profil.

Néanmoins, pour parer à tous les événemens que ce petit accident aurait pu occasioner par la suite, on jugea convenable d'établir un parafouille en maçonnerie de béton à l'extrémité de l'avant-radier dans les fossés, à 5 mètres du seuil de l'écluse, occupant toute la largeur du fossé et dépassant même de 2 mètres le derrière des revêtemens d'escarpe et de contrescarpe, et de le faire descendre, s'il était possible, 1 mètre plus bas que toutes les fondations, c'est-à-dire jusqu'à la cote 108.

On travailla en conséquence à former un coffrage d'environ 1 mètre de largeur avec des palplanches de 5 mètres de longueur, mais on éprouva les plus grandes difficultés pour les mettre à fond ; plusieurs même ne purent y arriver, et on dut abandonner le battage, lorsque, après 3 volées de 30 coups chacune, une palplanche n'avait pas descendu de 5 millimètres.

Une autre difficulté, non moins grande, fut de

déblayer ce coffrage, qui, sur 4 mètres de profondeur, avait à peine 1 mètre de largeur : on ne pouvait le faire qu'à la drague ; mais aucune de celles indiquées dans le 4e. numéro du Mémorial n'ayant présenté de résultats satisfaisans, on fut obligé d'en faire construire d'une autre forme : elles consistaient en un sac de toile monté sur un cercle de fer de forme elliptique, dont le plan faisait un angle très-ouvert avec le manche, qui était une gaffe de 18 à 20 pieds de long.

Le sable mouillé étant, comme on l'a déjà remarqué, d'une grande dureté, le fond était à peine entamé par les dragues, qu'on retirait presque vides ou seulement pleines d'eau. On fut alors obligé de mettre à chaque drague un homme de plus, lequel, placé en sens opposé du premier, et appuyant fortement sur la drague, au moyen d'une gaffe garnie d'une petite fourche de fer, la forçait d'entrer dans le fond et de se remplir de sable. Mais néanmoins il ne fut pas possible de descendre beaucoup plus bas que la cote 107, parce que le sable en dehors du coffrage, étant beaucoup plus pesant que l'eau qui le remplissait, commençait par rentrer par le fond et entre les palplanches, à mesure qu'on en retirait, ce qui obligea de cesser entièrement le dragage.

Comme il était indispensable de placer toute la maçonnerie de béton du parafouille, dans une seule marée, afin de prévenir la rentrée des vases que la mer eût amenées, et dont on n'eût pu se débarrasser qu'en épuisant, ce qu'il n'était pas possible de faire ;

on avait eu soin de préparer d'avance cette maçonnerie en quantité suffisante, en sorte que les 26 mètres cubes, que devait contenir le parafouille, furent mis en place dans une seule marée de 5 heures, pendant laquelle furent employés 116 ouvriers, d'abord au moyen d'augets, jusqu'à une certaine hauteur, puis à la pelle et même à la brouette, en ayant toujours soin de niveler et presser les couches successives avec des rouleaux et des dames-plates. Le dessus fut ensuite recouvert de nattes chargées d'un mètre cube de terre pour faire mieux tasser le béton, et 15 jours après, il avait acquis assez de dûreté pour ne pouvoir plus être entamé qu'avec la pioche.

Le mortier de béton était composé de $\frac{3}{6}$ de cendrée de four à chaux, $\frac{1}{6}$ de ciment, $\frac{1}{6}$ de frasier pulvérisé et $\frac{1}{6}$ de sable, à quoi on avait ajouté $\frac{}{10}$ de trass de Hollande. Ces différentes matières, formant un volume de 30,100 mèt. cub., se trouvèrent réduites, après avoir été passées au moulin à manége, dans un espace de huit à neuf heures de travail, à un volume de 22,192 mèt. cub., ce qui établit la réduction à peu près dans la proportion de 15 à 11. On forma ensuite 72 tas, composés chacun de 4 brouettes de ce mortier et de 4 brouettes de grès, pierres et briques concassées, dont le mélange fut fait par 80 ouvriers en 8 heures de travail; le tout formant un volume de 43,776 mèt. cub., dans lequel étaient entrés 21,888 mèt. cub. de mortier, s'est trouvé réduit, placé dans le parafouille, à 26,128 mèt. cub., ce qui fait voir que 17,648 mèt. cub. de mortier ont

servi à remplir les vides des fragmens de pierres.

Ce parafouille a complétement rempli son objet, et depuis quatre ans que le fossé du redan est constamment rempli jusqu'au niveau des hautes mers de vive eau, on n'a pas aperçu la moindre filtration à marées basses, pendant lesquelles cette eau pèse de tout son poids sur l'avant-radier.

On fera, à l'occasion de ce parafouille, quelques observations sur l'emploi de la maçonnerie de béton dans les fondations exposées à la mer, et dans un sol composé de sable, tel qu'est celui de Dunkerque, dans le but d'éviter les épuisemens.

1°. En supposant même que les déblais à faire ne fussent pas mêlés de décombres et qu'ils pussent être faits à la drague, ils exigeraient plus de temps et coûteraient vraisemblablement plus cher, attendu la grande difficulté qu'on éprouve à entamer un fond *semblable avec la drague*;

2°. Il faudrait que ces fondations n'eussent qu'une capacité telle qu'elles pussent être remplies dans la même marée, pour éviter le mélange du béton avec les vases que la mer ferait rentrer dans le coffrage;

3°. Il faudrait pouvoir laisser durcir cette maçonnerie pendant huit à neuf mois avant de la charger de poids aussi énormes que ceux des revêtemens construits sur les deux rives du chenal.

On peut encore conclure de l'expérience faite à ce parafouille, qu'il est bien difficile de descendre des fondations même à la cote 108, c'est-à-dire à 8 mètres au-dessous du niveau de la haute mer, tant par

l'obstacle que la nature du sol oppose à l'enfoncement des palplanches, qu'à cause de la grande quantité de sable qui commence à rentrer par le fond à cette profondeur, par l'excès de son poids, sur celui de l'eau qui remplit ce coffrage.

Porte d'eau sur la cunette des Moëres.

Planche Ire. Cette porte, ses accessoires et les deux batardeaux qui l'accompagnent, comprenant ensemble une surface de plus de 1000 mètres carrés de fondations, exigèrent un déblai de 53.000 mètres cubes de terre pour atteindre le sol, au niveau du fond de la cunette, sur lequel devait se faire le tracé : ces terres furent déblayées sur une hauteur de 7^{m}, 60, de la cote 98, 00 à la cote 105, 60.

A cette profondeur, le sol était composé, comme sur les bords du chenal, d'un sable assez pur, mêlé cependant de quelques coquillages.

Les encaissemens pour les fondations du passage de la porte et des batardeaux, les pérées qui les accompagnent et le radier, exigeaient un battage de pilots et palplanches d'environ 500 mètres courans de développement. Les déblais n'ayant pu être faits que dans un espace de 4 mois, un battage aussi considérable demandait la plus grande célérité pour qu'il fût possible d'élever tant de maçonnerie à une hauteur suffisante, avant la fin de la campagne. On mit en conséquence en activité autant de sonnettes que le terrain permettait d'en faire agir à la fois.

Leur nombre fut porté jusqu'à 7, et, malgré la résistance, plus grande qu'aucune de celles déjà éprouvées, qu'opposa le sol à l'enfoncement des palplanches, on se trouva en mesure, en moins d'un mois, de pouvoir commencer les fondations.

Cette résistance du sol confirme ce qui a été dit précédemment de l'accroissement progressif de la dureté des couches de sable dans le sens de leur profondeur, puisque ces palplanches, qui n'avaient pas plus de fiche que celles du port, mais dont le battage commençait 1 mètre plus bas, c'est-à-dire, à la cote 105, 60, au lieu de la cote 104, 50, n'arrivaient qu'avec la plus grande peine à la profondeur fixée et finissaient bien souvent par s'écraser sous le mouton.

L'inutilité d'ajouter des parafouilles aux batardeaux, qui auraient d'ailleurs coûté extrêmement cher, ayant été reconnue, on trouva préférable, pour en tenir lieu, d'augmenter la profondeur des fondations et de la porter à 1^{m} 60. Devant soutenir une hauteur d'eau de 5^{m} 50, leur épaisseur sur la retraite fut fixée à 5 mètres avec un talus du quart de chaque côté.

La profondeur des fondations du passage de la porte fut fixée à 1^{m}, 20.

La 1^{re}. assise des fondations fut faite sur un bain de mortier hydraulique, en blocs de pierre dure, grossièrement équarris, espacés à quelques centimètres les uns des autres.

On avait eu occasion de reconnaître, dans les

fondations faites précédemment, combien il importait que ces vides entre les pierres fussent maçonnés le plus promptement possible, pour prévenir l'invasion des vases, que le poids des libages fait jaillir du fond en grande abondance. Rien ne parut, en conséquence, plus convenable pour cela que d'y employer de la maçonnerie de béton, préparée d'avance, qu'on jetait entre les joints aussitôt que les blocs de pierre étaient placés, et à laquelle on ajoutait des éclats de pierre de différentes dimensions, chassés à la masse. De cette manière, il n'y eut plus aucun mélange de vase, et on obtint une maçonnerie à la fois plus compacte et plus homogène. Le béton était composé et préparé comme celui employé sur le port, et dont on a donné plus haut le détail.

Le reste des fondations fut fait en maçonnerie de briques et mortier hydraulique, qui, sur 20 parties, en contenait 8 de chaux de Marquise, qui est très-hydraulique, 6 de sable, 3 de frasier pulvérisé, et 3 de ciment, ce qui revient à 2 cinquièmes de chaux sur 3 cinquièmes de sable, frasier et ciment.

La nette maçonnerie des batardeaux, des pieds droits du passage de la porte d'eau, etc., fut ensuite élevée avec un parement en pierre de taille de 40 à 50 centimètres de hauteur d'assises jusqu'au niveau de la haute mer.

On a souvent reconnu, par expérience, que le dessous des fondations assises sur un fond de sable

fin, surtout pour les maçonneries faites dans l'eau, finissait bientôt par acquérir la dureté de la pierre, sur une profondeur de 40 centimètres, au moins, par la filtration de l'eau de chaux à travers le sable: ce fait a été particulièrement remarqué à Gravelines, il y a quelques années, lorsqu'on a rempiété les murs d'escarpe. On peut donc compter, d'après cela, que la profondeur des fondations des bâtardeaux sera au moins portée à deux mètres par la dureté que ne manquera pas d'acquérir le sable du dessous des fondations.

Il était indispensable, dans la construction de la porte d'eau, de trouver le moyen de mettre en communication les deux portions des fossés de la place, séparées par le canal de la cunette des Moëres, afin d'entretenir les eaux des fossés sur la rive droite, au moyen des eaux de mer qui entrent dans ceux de *la rive gauche*, par l'écluse du batardeau dont il est question plus haut.

Celui adopté, consiste en un syphon en fonte de fer de 18 mètres de long sur 0^m 75 de diamètre intérieur et d'environ 15 millimètres d'épaisseur, du poids total de 1070 kilogrammes; passant sous le radier d'aval de la cunette, et à travers les fondations des deux batardeaux, et venant déboucher au fond de deux puits en maçonnerie, construits dans les fossés. Cette disposition et le diamètre du syphon, calculé de manière à y pouvoir faire travailler un homme assez commodément, permettront toujours de le faire nettoyer, si jamais, ce qui est

peu probable, il venait à s'engorger, en mettant auparavant les fossés à sec.

Le syphon, fait à la fonderie du sieur Halette à Arras, est composé de 9 pièces, qui ont été assemblées sur place, au moyen de boulons à écrous traversant les rebords intérieurs de 5 centimètres de largeur, et percés de 7 trous qui ont été pratiqués aux extrémités de chacune de ces pièces. Une petite saillie, laissée à une des extrémités de chaque pièce, formait un vide entre chaque rebord, rebord destiné à être rempli par un ciment, afin de rendre tous les joints du syphon parfaitement étanches. Ce ciment, de la composition du sieur Halette, fait corps avec la fonte, et en acquiert toute la dureté au bout de quelques jours, pourvu qu'on évite, pendant ce temps, de le faire mouiller. On met, dans 10 livres de tournure de fonte, une once de sel ammoniac pilé très-fin, et une demi-once de fleur de soufre, qu'on a soin de mélanger avec la main, et qu'on forme ensuite en tas. Aussitôt que ces matières entrent en effervescence, ce qu'on reconnaît aisément, lorsqu'en y plongeant le doigt, la chaleur qui se développe force à le retirer promptement, on les jette dans un vase plein d'eau, très-propre, et surtout bien exempte de graisse : on a également l'attention de ne mettre ni huile ni graisse aux boulons à écrous. On en fait ensuite de petites boules qu'on enfonce dans les joints, avec des battoirs en fer et à grands coups de marteaux.

On pourrait employer avec avantage ce ciment en d'autres circonstances.

Un plancher d'une superficie d'environ 320 mètres carrés, cloué et chevillé sur 28 cours de traversines, portées par des pilots, a été établi dans toute la longueur du passage de la porte d'eau sur un lit de terre grasse de Watten, de 40 centimètres d'épaisseur bien damée.

Pour prévenir les affouillemens dans le lit de la cunette entre les deux batardeaux, il a été fait, en aval de ce même plancher, un faux radier en fascinages, tunages et blocailles, ayant une superficie de 500 mètres carrés. Ce faux radier avait une épaisseur totale de 60 centimètres, formée :

1°. D'un lit de terre grasse de Watten, bien damée, de 15 centimètres d'épaisseur ;

2°. D'un lit de fascinages de 20 centimètres ;

3°. *D'un lit de blocailles* de 25 à 30 centimètres de hauteur, retenues et serrées dans des tunes espacées de 70 centimètres construites sur le lit de fascines.

Tous ces travaux, exécutés sur un terrain à 5m50 au-dessous du niveau de la mer, ont exigé des épuisemens considérables, qui ont eu lieu nuit et jour l'espace de 5 mois, au moyen d'un grand chapelet manœuvré par douze hommes, qui élevait les eaux à 3m50 de hauteur verticale.

Les trois grandes voûtes des passages de la porte d'eau et celles des casemates qui les accompagnent, ont été exécutées, comme toutes celles faites les années précédentes, par rouleau d'un brique boutisse

d'épaisseur, dont 4 donnent 1 mètre d'épaisseur. Aussitôt que le premier rouleau est fermé, et que les 2^{me}., 3^{me}. et 4^{me}. ont été montés par étage à une hauteur suffisante pour soutenir les reins du premier, on décintre à la fois sur toute la longueur de la voûte.

La maçonnerie du premier rouleau faisant ainsi son effet avant que les suivans soient fermés, ceux-ci peuvent s'appliquer exactement sur celui-là, et il n'y a pas à craindre qu'il reste des vides entre eux, comme cela arrive quelquefois, lorsqu'on attend pour décintrer que les 4 rouleaux soient achevés.

Indépendamment des chapes en ciment appliquées sur les capes des voûtes, on les a encore recouvertes comme cela avait été déjà pratiqué pour les voûtes des casemates construites sur les deux rives du chenal, d'un lit de terre grasse de Watten, de 25 centimètres d'épaisseur, bien liée et damée. Rien ne paraît plus propre que ces lits de terre grasse, non-seulement à empêcher les filtrations à travers les maçonneries, mais encore à éloigner toute espèce d'humidité de la surface des voûtes; et toutes celles auxquelles on les a appliquées jusqu'à présent se sont conservées parfaitement sèches, et n'offrent pas la moindre apparence d'humidité.

Ces lits de terre grasse font sur les voûtes le même effet que ceux qu'on rencontre dans les couches des terrains naturels, sur lesquels les eaux ne font que couler sans jamais les pénétrer.

NOTICE

SUR

L'ÉXÉCUTION DE LA NOUVELLE CHARPENTE

DE M. LE COLONEL ÉMY,

AU QUARTIER DE CAVALERIE DE LIBOURNE.

Par M. CHAYROU, Capitaine du Génie (1).

Motifs de cette Notice.

En 1825, M. Émy, colonel du génie, actuellement en retraite, fit exécuter à Baïonne une nouvelle *charpente de son invention*, pour servir de comble à un magasin rectangulaire de 57 mètres sur

(1) M. le colonel Émy avait d'abord destiné au Mémorial de l'Officier du génie un excellent Mémoire sur le système de charpente dont il est l'auteur. Mais cet officier ayant fait imprimer séparément son ouvrage, on a dû renoncer à en enrichir le Mémorial. On y trouvera des détails pleins d'intérêt et de forts beaux dessins que l'on ne pourra se dispenser de consulter, toutes les fois que l'on voudra étudier et appliquer cette invention.

Voici le titre de cet ouvrage : *Description d'un nouveau système d'arcs pour les grandes charpentes*, par M. Émy, colonel du génie. (Un cahier grand in-folio.) — Paris, chez Cavilian-Gœury, libraire, quai des Augustins, nº. 41. P. B.

20 mètres en œuvre. Une seconde charpente du même genre a été ordonnée en 1826 au quartier de cavalerie de Libourne, pour couvrir un manége qui a en œuvre 48 mètres sur 22 mètres dans sa partie supérieure. Le capitaine chef du génie, chargé de la construction de cette dernière, en avait par devers lui les dessins qu'il tenait de l'inventeur. Mais il lui manquait des détails essentiels concernant l'exécution, et il fut obligé de mettre la main à l'œuvre sans les avoir reçus. A raison de cette circonstance et de l'ordre de M. l'inspecteur général, il est de son devoir d'exposer les procédés qu'il a employés, et d'indiquer ce qu'il a été à même d'observer dans la confection de cette belle charpente, qui joint la solidité à la simplicité et à l'élégance.

Les cintres de M. Émy plus solides que ceux à la Philibert-Delorme.

Le système ordinaire des combles devenait impraticable pour couvrir le manége de Libourne, à cause de sa grande largeur, bien que les longues pièces de sapin du Nord arrivent dans cette ville. La première idée du chef du génie fut de couvrir ce manége par une charpente à la Philibert Delorme, en employant à cet usage des planches de pin des Landes, qui ont, terme moyen, 8 pouces de largeur, 1 pouce un quart d'épaisseur, et 8 pieds de longueur, ce qui eût obligé de partager cette longueur en deux morceaux. Il en présenta le projet à la fin de 1820; mais M. Émy, alors directeur du génie à La Rochelle, fit sentir, dans un premier mémoire qu'il rédigea à ce sujet, l'avantage qu'il y aurait à substituer à la charpente proposée un

nouveau système de cintres formés de madriers courbés sur leur plat, et tirés des pièces de sapin du Nord. En effet, un cintre construit suivant ce système n'est composé que de quinze à vingt morceaux de madriers, tandis qu'il contiendrait jusqu'à cent trente morceaux de planche de 4 pieds, s'il était formé suivant la méthode de Delorme que nous proposions. Cette seule considération prouve que les cintres à madriers courbés sur leur plat doivent être beaucoup plus solides que ceux formés de planches posées de champ, puisqu'il est évident que, toutes choses égales d'ailleurs, la solidité d'un cintre est en raison inverse du nombre de morceaux dont il se compose.

Ils sont de nouvelle invention, en ce qu'ils n'exigent point le secours du feu.

M. le colonel Émy a donc fait faire un pas essentiel à l'art, en imaginant ces nouveaux cintres. Nous ne pensons pas que le mérite de cette invention puisse être affaibli par quelque exemple antérieur de cintres composés de madriers courbés sur leur plat, tel que celui de la charpente construite en 1820 sous le pont aux Fruits, à Melun, par M. Eustache, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Les madriers employés par cet ingénieur furent courbés au feu (1) par un moyen dispendieux, lent et pénible, que M. Émy n'emploie pas, et qu'il rejette expressément, ainsi qu'on le voit par la

(1) Voyez les dessins lithographiés distribués à MM. les ingénieurs des ponts et chaussées.

description suivante qu'il a donnée de sa charpente dans son premier mémoire :

Description des cintres et fermes de la charpente de M. Emy. Pl. II, fig. I.

« Chaque ferme est formée d'un arc en demi-» cercle (*voyez* la feuille de dessin) qui se combine » par des moises pendantes, avec des arbalétriers, » des entraits ou aisseliers, et des moises-poteaux. » L'arc dont il s'agit est la principale pièce de la » ferme. Il est composé de cinq madriers ayant » $0^m,055$ (2 pouces) d'épaisseur sur $0^m,136$ (5 pou-» ces) de largeur, appliqués l'un sur l'autre comme » le sont les feuilles d'un ressort de voiture, et cour-» bés selon le cintre nécessaire pour la portée de la » charpente.

» Ces madriers sont tenus dans leur position res-» pective, et fortement serrés par des boulons, des » brides, et les moises pendantes dont j'ai déjà » parlé. Ils sont pris dans de grandes pièces de » sapin du Nord, sciées suivant leur longueur; et » leur peu d'épaisseur les rend assez flexibles pour » qu'on puisse les amener à la courbure nécessaire » sans les mouiller ni les faire chauffer. L'arc résul-» tant de la réunion de ces cinq madriers a un » équarrissage de $0^m,28$ sur $0^m,14$, sans que le fil » du bois soit coupé, avantage qu'on n'obtient ni » par le système des cintres en planches, ni en pre-» nant des portions de courbes dans des plateaux. »

On imagine aisément comment on peut disposer un gabari propre à courber en demi-cercle des madriers naturellement flexibles, tels que ceux qu'on

vient d'indiquer. Disons toutefois un mot de celui dont on a fait usage à Libourne.

Du gabari employé à Libourne pour la confection des cintres de M. Émy.

Après avoir tracé par terre une demi-circonférence de 18 mètres d'ouverture, on l'a divisée en vingt parties égales (1); et, dans le sens des rayons menés par les points de division, on a couché des pièces de bois de 2 mètres de longueur en dehors et à partir de la demi-circonférence. Ces pièces ont été reliées entre elles par deux cours d'autres pièces transversales de 3 mètres de longueur, mises bout à bout en forme de polygone, et assemblées avec les premières alternativement à mi-bois et à tenons et mortaises. Les deux polygones, formés de la sorte à l'extérieur de la demi-circonférence ci-dessus, se trouvaient dépassés d'un mètre au moins par le prolongement des premières pièces de bois. On a pratiqué dans ces prolongemens des entailles de deux pouces de profondeur et d'environ un pied de longueur, dans lesquelles on plaçait et retenait avec des coins les madriers à mesure qu'on les courbait.

Les deux extrémités du gabari, construit de cette manière étaient liées par un tirant en bois de 23 mè-

(1) La première de gauche exceptée, qui était d'environ 0^m, 20 plus grande que les 19 autres, afin que les moises pendantes de la ferme, qui sont au nombre de 19, et à peu près également espacées, ne se rencontrassent pas avec les pièces du gabari dirigées vers son centre.

tres de longueur, placé à 3 pouces au-dessous du centre, afin de pouvoir laisser aux deux extrémités de l'arc, le bois destiné à être logé dans la sablière placée à la naissance des fermes.

Pour faire usage de ce gabari, on l'a posé sur des cales au moyen desquelles la face inférieure de l'arc se trouvait élevée de 14 à 15 pouces au-dessus de terre, ce qui permettait à l'ouvrier couché de voir cette face inférieure.

Une fois les cinq feuilles de l'arc appliquées l'une sur l'autre, on conçoit que le gabari laissait toute facilité pour mettre en place les brides, pour faire, avec la tarière, les trous nécessaires aux boulons, et enfin pour assembler toutes les pièces qui composent la ferme.

Démontage du gabari.

Nous ferons remarquer qu'après l'achèvement d'une ferme on était obligé de démonter le gabari, afin de faire place à la manœuvre du levage, et qu'on l'assemblait de nouveau pour construire la ferme suivante. Ce gabari avait été construit avec d'anciens bois de pin de $0^m,23$ sur $0^m,15$ de grosseur, et qui avaient servi à cintrer des voûtes. Par ces deux motifs, les assemblages du gabari se relâchaient de jour en jour. Néanmoins il a résisté à la construction de la majeure partie des fermes, et ne s'est sensiblement déformé que sur la fin, en se renflant un peu vers le sommet, et en rentrant vers ses deux extrémités : c'est ce qui obligea d'y ajouter deux jambes de force intérieures, appuyant sur le tirant de ces extrémités. On a donc lieu de croire

qu'il n'y aurait eu aucun dérangement dans le gabari, si ses diverses pièces eussent été faites de meilleur bois, parce que les assemblages auraient alors offert la résistance nécessaire.

De la construction d'un cintre.

Relativement à l'opération de courber les madriers, nous remarquerons qu'ils s'y prêtaient d'autant plus facilement qu'ils étaient plus longs, plus frais et moins noueux. Ceux qu'on employait immédiatement après avoir été débités à la scie, avaient toute la fraîcheur nécessaire, parce qu'ils provenaient de grosses pièces qui avaient été accidentellement mouillées. Mais lorsque ces madriers avaient éprouvé par la chaleur de la saison une forte dessiccation, il s'opérait à leur surface quelques légères ruptures, qu'on a eu soin d'éviter en tenant les madriers dans l'état de fraîcheur convenable jusqu'au moment de leur emploi Chaque feuille d'un arc ayant, terme *moyen*, 33^m, 50, *a été faite* de trois à quatre morceaux, mais jamais plus, posés bout à bout; de sorte qu'on comptait de dix à quinze joints dans le cintre d'une ferme.

Trois ou quatre hommes suffisaient pour courber le madrier d'un rayon à l'autre du gabari; ces rayons étaient distans entre eux d'environ 1^m, 70. Les ouvriers se servaient pour cette opération de torses en cordes et d'un fort valet de fer à vis. Ils maintenaient d'ailleurs, par deux coins opposés par leur tranchant, le madrier à mesure qu'il était logé dans son *en*castrement.

Entrons maintenant dans les détails les plus essen-

tiels, ceux du levage et de la mise en place des fermes, opération qui a été effectuée à Libourne différemment qu'à Baïonne.

Situation de l'atelier.

Notre atelier était établi sur un plancher provisoire élevé à la hauteur de la naissance de la charpente à construire. Ce plancher occupait toute la largeur du manége et la moitié de sa longueur, c'est-à-dire qu'il avait, dans le premier sens, 22 mètres, et dans le second, 24 mètres. C'est sur ce même plancher, élevé d'environ 24 pieds au-dessus de terre, qu'on avait tracé l'épure des fermes et établi le gabari qui servait à former les arcs. Remarquons que le diamètre de ce gabari était disposé parallèlement à la longueur du local, par la raison qu'une ferme, couchée sur le plancher provisoire, dépassait, par les abouts de ses arbalétriers, la largeur en œuvre du manége, et qu'ainsi elle n'aurait pas pu être manœuvrée dans cette seule largeur.

Détail du levage des fermes à Libourne.

L'opération du levage a eu lieu moyennant trois chèvres, l'une de $15^{m},00$ de hauteur placée vis-à-vis le poinçon ou moise centrale, tandis que les deux autres, de $12^{m},50$ de hauteur, correspondaient à peu près au tiers inférieur de chaque arbalétrier.

La ferme étant arrivée dans une position verticale, en tournant autour de son diamètre ou de la droite imaginée par le pied de ses deux moises-poteaux, il a fallu, dans cette situation, lui faire faire un quart de conversion pour la mettre en travers du manége; après quoi on a dû la faire mouvoir parallèlement à elle-même pour la transporter à sa

place et loger ses moises-poteaux dans les encastremens de la sablière.

Le quart de conversion de la ferme s'est effectué en changeant peu à peu les chèvres de place au moyen de leviers qu'on embarrait sous leurs traverses inférieures. Le haut de la ferme suivait naturellement le mouvement des chèvres, et le pied des moises-poteaux cheminait ensuite également à l'aide des leviers. Quart de conversion.

Remarquons que, ce quart de conversion une fois opéré, les abouts ou ailes des fermes se trouvaient étendus sur la corniche supérieure du bâtiment; ce qui nous fournissait un nouveau moyen de soulever la ferme à droite et à gauche, en passant des leviers entre la corniche et ces abouts, qui sont de petites pièces de bois horizontales bien assujetties au reste de la ferme.

Le *mouvement de translation* aurait pu s'opérer par les moyens précédens, si le plancher de l'atelier eût existé dans toute la longueur du manége; mais, comme il n'en occupait que la moitié, il a fallu pour ce dernier mouvement abandonner les chèvres, se contenter de maintenir la ferme dans une situation verticale par des haubans placés derrière et devant, et faire cheminer les pieds des moises-poteaux sur les sablières à droite et à gauche. Des palans et des leviers ont servi dans cette opération, qui a été favorisée au moyen de deux petits chariots de 20 centimètres de hauteur, lesquels supportaient chacun une moise-poteau, et roulaient sur les deux Mouvement de translation.

sablières placées à la naissance de la charpente.

Fermes groupées.

Lorsqu'on eut conduit de cette manière six fermes en place, on remarqua qu'on ne pouvait plus en poser de nouvelles sans embarrasser l'atelier et se priver de l'espace nécessaire à la manœuvre. On prit alors le parti de les accumuler debout l'une contre l'autre à mesure qu'elles étaient construites, pour les porter ensuite à leur place lorsque le plancher de l'atelier ne serait plus nécessaire. Cette manœuvre a été effectuée sans beaucoup de peine au moyen des petits chariots indiqués ci-dessus, et des palans qu'on attacha aux pieds des moises-poteaux pour les faire cheminer. En effet, une journée a suffi pour remuer et conduire en place sept fermes qu'on avait groupées l'une contre l'autre vers le milieu et en travers du manége.

Précautions prises avant le levage.

Avant d'opérer le levage et la translation des fermes, on a eu soin de garnir d'une forte frette les pieds des moises-poteaux, afin que ces pieds fussent capables de résister sans avarie à la pression des leviers et aux divers efforts qu'ils ont eu à supporter. Cette frette était coudée de manière à embrasser à la fois le pied du poteau et celui de l'arc. Elle fermait à la manière d'une bride, afin de pouvoir l'enlever aisément lorsqu'on encastrait la ferme dans la sablière.

On a pris également la précaution, au moment du levage, de lier entre elles les deux moises-poteaux par leurs pieds au moyen d'un palan, afin d'éviter entre ces pieds un écartement qui aurait

pu résulter des divers efforts supportés par la ferme pendant la manœuvre de sa mise en place. On n'a pas remarqué, au reste, que durant cette manœuvre le cordage du palan se soit raidi fortement ; il se relâchait même quelquefois, surtout lorsque les chèvres faisaient perdre terre aux pieds des moises poteaux.

Enfin, pour éviter autant que possible le fouettement d'une ferme et la dislocation de ses assemblages pendant les manœuvres de la mise en place, on a cru nécessaire d'établir trois files de bois en travers de ses moises pendantes, auxquelles ces files étaient momentanément fixées par des nœuds de cordes.

Bois employé dans la charpente.

Le sapin du Nord et celui des Pyrénées sont les seules qualités de bois employées à la charpente du manége de Libourne. Les arcs, aisseliers, moises-poteaux et moises pendantes, sont en sapin du Nord ; les sablières, moises-liernes, pannes et le faîte, sont en sapin des Pyrénées. Ce dernier bois ayant beaucoup de raideur, nous l'avions destiné à former aussi les moises-poteaux ; mais sa rareté à Bordeaux cette année nous a obligé d'avoir recours au bois du Nord pour ces poteaux.

Cube et poids d'une ferme, temps employé pour la construire.

Quinze ouvriers, terme moyen, ont travaillé pendant soixante-douze jours pour construire et placer les quatorze fermes qui composent la charpente du manége de Libourne. Ainsi, cinq jours et un septième de travail, ou soixante-dix-sept journées de charpentier, suffisaient à la confection et à

la pose d'une ferme qui contenait 5,500 mèt. cub. de bois, non compris les trois files de précaution dont nous avons parlé, et qui pesaient, avec ces mêmes files, quarante quintaux métriques (1).

Nous avons fait sur le ressort du cintre, pièce principale des fermes, une expérience qui offre

---

(1) La charpente du manége se compose de 14 fermes équidistantes entre elles, et formant avec les deux murs de pignon 15 travées égales de 3m, 20 chacune.

Il entre dans chaque ferme :

5,500 mèt. cub. de bois (1), pesant.		3754 kil
116 boulons.	*idem*.	110
18 brides.	*idem*.	36
	Poids d'une ferme.	**3.900 kil.**

Cube des pannes et liernes (2).

68,500 mèt. cub., pesant.	31.500 kil.
Lattis et couvertures pesant.	108.500
	140.000

Divisant ce poids par le nombre de travées, on trouve, pour la charge de chaque ferme, ci. . 9.333 kil.

Le plancher qui a servi à la construction de la charpente était élevé de 24 à 25 pieds au-dessus du sol. Il occupait toute la largeur du manége et la moitié de sa longueur.

La pente de la couverture est de 35 de hauteur sur 99 de base.

(1) En sapin du Nord dit bois de Nerva.

(2) En sapin flotté des Pyrénées dit bois de Rach.

quelque intérêt, en ce qu'elle redresse une opinion que partageaient plusieurs personnes, savoir, que ce cintre, étant formé de madriers primitivement droits, devait avoir une forte tendance à se redresser, et qu'il exerçait en conséquence une poussée notable, dans le sens de son diamètre, contre la partie inférieure des moises-poteaux. Voici l'expérience dont il s'agit :

Expérience sur le ressort des cintres.

Après avoir fait construire un cintre de ferme, c'est-à-dire l'avoir boulonné et bridé seulement, mais non moisé, nous donnâmes l'ordre d'enlever tous les coins qui le maintenaient dans les encastremens de son gabari, et de lui procurer ainsi toute liberté de s'étendre, en la favorisant d'ailleurs autant qu'on le pourrait. Les ouvriers témoignèrent des craintes à cet égard, en disant qu'ils auraient beaucoup de peine à ramener l'arc à sa forme primitive, à raison du grand écartement qu'il devait prendre suivant eux. Nous persistâmes, et leur étonnement fut des plus grands lorsqu'ils virent que les extrémités du demi-cercle ne s'écartaient entre elles que de cinq à six pouces au plus, et qu'un homme arrêtait facilement cet écartement. Nous fîmes comprendre aux ouvriers que le cintre ne pouvait s'ouvrir davantage, attendu qu'étant boulonné et bridé, ses cinq feuilles devenaient solidaires l'une de l'autre, et que la feuille extrados ayant 0^m, 60 de plus que celle de l'intrados en longueur, il faudrait que la première se raccourcît, ou que la

seconde s'allongeât de cette différence, ce qui était impossible.

Ils n'exercent pas de poussée sensible.

D'après cette expérience, que nous avons faite sur les arcs de deux fermes, nous demeurons convaincu que ces arcs, qui sont des pleins cintres, n'exercent pas de poussée sensible à la naissance de la charpente. Au reste, quelle que soit la poussée en ce point, elle nous paraît moins importante que celle qui aurait lieu sur la corniche supérieure du bâtiment, et qui pourrait être exercée par les abouts des arbalétriers, abouts qui sont enchâssés à mi-bois dans le massif de la corniche.

Examen de la poussée à la partie supérieure du bâtiment.

Mais nous avons presque autant de sécurité sur cette dernière poussée que sur la première; en voici les motifs : nous remarquons, 1°. que l'aisselier placé au sommet de l'arc, fait fonction de tirant, et qu'il détruit la poussée exercée par le premier quart des arbalétriers; 2°. que les deux aisseliers latéraux de la charpente partent du tiers inférieur des arbalétriers, les soulagent beaucoup en partageant avec eux la poussée, et qu'ils reportent une grande partie de celle-ci à 10 pieds au-dessous de la corniche supérieure du bâtiment.

Observation faite à cet égard.

Enfin, nous avons fait sur les lieux une observation qui n'est point indifférente, c'est que plusieurs moises-poteaux qui ne touchaient par aucun point la maçonnerie avant qu'on commençât la couverture (1),

(1) On voit bien par le dessin qu'il n'est pas possible que les

ne l'ont pas touchée davantage après l'achèvement de cette couverture, qui charge chaque ferme d'un poids surpassant 93 quintaux métriques.

Si les abouts des arbalétriers n'étaient que posés sur la corniche au lieu d'y être encastrés, l'observation que nous venons de rapporter prouverait que la poussée qui nous occupe est insensible; mais elle prouve au moins que la poussée exercée suivant les aisseliers latéraux ne peut faire fléchir les moises-poteaux d'un centimètre, car c'est à cela que se réduit l'intervalle qui existe entre le mur et l'extrémité de quelques moises pendantes et aisseliers assemblés dans les moises-poteaux.

Enchaînement du système d'une ferme.

Au reste, la disposition des diverses pièces qui composent chaque ferme, nous paraît si bien entendue, que nous ne croyons pas que la figure du système puisse subir la moindre altération par la charge de la couverture. En effet, si le poids de celle-ci faisait fléchir le sommet de l'arc, ce qui exigerait qu'il se renflât vers les reins, ce même poids refoulerait l'arc en ce dernier point, et réciproquement. Les trois aisseliers rendent d'ailleurs invariable l'ouverture des angles formés par les arbalétriers et les moises-poteaux, pièces qui servent en quelque sorte de cadre à chaque ferme.

---

moises-poteaux touchent le mur par elles-mêmes, et que le contact ne peut avoir lieu qu'au moyen de la saillie des pièces qui sont assemblées avec ces poteaux.

Il se joint à l'observation ci-dessus pour ôter toute crainte relativement à la poussée dans le haut du bâtiment.

Nous sommes donc porté à croire que cet enchaînement qui existe dans chaque ferme est tel, qu'il équivaut à l'effet d'un tirant qui règnerait d'un pied à l'autre des arbalétriers, et qu'ainsi il n'y a pas de poussée à craindre à la corniche supérieure du bâtiment.

Avantage qui résulte de la suppression des chevrons.

Les chevrons qu'on emploie dans les combles ordinaires sont supprimés dans la charpente de M. le colonel Émy, et remplacés par des pannes, ce qui fait que les planches du lattis sont dirigées suivant la pente de la couverture au lieu de l'être dans le sens horizontal. Cette disposition a cet avantage que chaque latte-feuille devient capable de résister à un plus grand poids, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire que si les pannes ne sont pas plus écartées entre elles que ne le seraient les chevrons, la même planche, appliquée en travers des pannes, résistera mieux au poids de la couverture que si elle était placée en travers des chevrons. Il est facile de s'assurer par exemple que le lattis du manége de Libourne, dont la pente est de 35 de hauteur sur 99 de base, est devenu capable de supporter une couverture plus pesante de $\frac{1}{16}$, que si les lattes-feuilles eussent été clouées sur des chevrons espacés comme le sont nos pannes. Il est inutile de dire que cet accroissement de résistance du lattis aurait été plus grand, si la pente de la couverture se fût trouvée plus rapide.

Ecartement moyen des pannes.

L'écartement de nos pannes est, terme moyen, de 3 pieds d'axe en axe : on a coutume à Libourne d'es-

pacer les chevrons de 2 en 2 pieds sous la tuile creuse; mais aussi la latte-feuille de pin des Landes, qu'on y emploie, n'a que de 15 à 16 millimètres d'épaisseur, tandis que celle dont on a fait usage au manége, également en pin des Landes, a une épaisseur double, c'est-à-dire de $0^m,030$ à $0^m,035$.

Solidité de la couverture

D'après ces diverses données, nous sommes assuré, par le calcul, que la force de notre lattis est à celle du lattis du pays, comme 17 à 6. Ainsi, on a pu sans crainte substituer la couverture en tuiles creuses qui pèse 77 kilogrammes par mètre carré à celle en zinc qui n'en pèse que 6.

Le zinc avait été d'abord indiqué non-seulement pour éviter l'entretien de la couverture qui eût été nul, mais aussi pour rendre cette couverture la plus légère possible. D'un autre côté, les fermes de la charpente ne devaient dans le principe être espacées que de $1^m,50$, tandis qu'elles le sont par le fait de $3^m,20$ d'axe en axe à Libourne. Mais telle est la solidité des cintres en madriers courbés sur leur plat, qu'elle surpasse même l'effet avantageux que leur inventeur avait espéré.

Écartement des fermes.

Poids de la couverture.

En comprenant le poids des moises-liernes, des pannes, du lattis et des tuiles, nous avons trouvé que la couverture du manége est de 1400 quintaux métriques (1), et cependant il semble, à voir la par-

(1) Nous ne faisons point entrer dans ce poids la partie de la couverture qui repose sur les murs latéraux du manège.

faite immobilité des arcs et autres pièces de la charpente, qu'elle soit capable de résister à une charge beaucoup plus forte. Cela est d'autant plus surprenant à la première vue, que cette charpente paraît d'une légèreté sans exemple, attendu que le sommet des cintres est élevé de 56 pieds au-dessus du sol.

Nous devons dire, à la louange de l'inventeur, que cet ouvrage a fait l'admiration d'une foule de curieux ; qu'il en a été question à plusieurs reprises dans les journaux de la Gironde, et que d'habiles ingénieurs, venus de Bordeaux pour le voir, en ont été très-satisfaits.

La charpente de M. Émy convient mieux qu'aucune autre aux portées les plus considérables

M. le colonel Émy nous paraît avoir résolu le problème des combles de grande portée, car quoique la largeur de 22 mètres en œuvre de notre manége soit déjà considérable, nous ne voyons pas de raison pour qu'on ne puisse couvrir de sa charpente une plus grande largeur. Dans ce dernier cas, sans doute, on ne pourrait guère lever les fermes de toutes pièces, comme on l'a pratiqué à Libourne; mais on pourrait, comme à Baïonne, monter ces pièces sur place; et, par ce procédé, nous demandons où serait la limite de l'étendue que l'on pourrait couvrir au moyen des cintres courbés sur leur plat. On n'a pas partout à sa disposition, il est vrai, des pièces de bois qui aient, comme celles de sapin du Nord, 12 à 16 mètres de longueur. Mais quand bien même on n'emploierait que des bois moitié aussi longs, cela ne ferait que porter à 30 ou 40 le nombre des joints des feuilles dans les arcs, lesquels seraient toujours

beaucoup plus forts que ceux à la Philibert Delorme. Si l'on objectait que les madriers étant moins longs seraient plus difficiles à courber, on pourrait diminuer un peu l'épaisseur de 2 pouces, sauf à mettre un ou deux rangs de feuilles de plus dans chaque arc. Quant aux moises-poteaux et aux arbalétriers, rien n'empêche, suivant nous, qu'ils ne puissent être faits de deux pièces assemblées bout à bout à mi-bois et renforcées, s'il est nécessaire, à leur jonction, par une joue en bois ou en fer.

Relativement aux largeurs à couvrir moindres de 15m, il n'y a pas de doute qu'on ne puisse l'exécuter partout en réduisant les feuilles des arcs à un pouce d'épaisseur, afin de leur donner la flexibilité nécessaire aux cintres de plus petite dimension qu'on aurait à construire; ce genre de charpente, appliqué aux combles de portée ordinaire, aurait le grand avantage de rendre entièrement libre l'espace des greniers.

Elle peut avantageusement servir pour les portées ordinaires.

Nous terminerons cette notice en faisant remarquer que la charpente de M. Émy ne présente dans son exécution rien de difficile pour l'ouvrier, ou qui soit au-dessus des moyens d'un charpentier ordinaire. La raison en est qu'il n'y a que des pièces droites à travailler, et que tous les assemblages se font à demi ou tiers de bois sans tenons ni mortaises. Il ne faut que de la précision dans le tracé et des soins et du ménagement dans l'exécution, chose qu'à la vérité on ne rencontre pas toujours dans les ouvriers, mais auxquels on peut suppléer, comme on l'a fait à Li-

Facilité de l'exécution de la charpente de M. le colonel Émy.

bourne, en redoublant de surveillance et en suivant attentivement tous les détails des travaux.

LÉGENDE

DE LA FIGURE.

a. Anciennes fondations construites vers l'an 1764.
b. Nouvelles fondations construites en 1821.
c. Genouillère autour du manége.
d. Galerie ou tribune.
e. Porte dans le mur de pignon, pour communiquer des écuries projetées avec la galerie.
f. Croisées faisant face au sud-ouest, fermées par des abat-jour.
g. Croisées donnant sur la grande cour du quartier, destinées à rester ouvertes.
h. Grande porte d'entrée du manège.

APOSTILLE DU DIRECTEUR.

M. Chayrou montre beaucoup de modestie dans cette notice, car il ne s'y donne aucune part au mérite de l'exécution de la belle charpente qui en fait l'objet, et cependant il aurait bien droit de s'en attribuer une forte, ne fût-ce que pour le dispositif de l'assemblage des fermes et de leur levage, évidem-

ment bien préférable au procédé suivi précédemment, de leur assemblage en place. Nous dirons pourtant, à cet égard, qu'il ne nous paraît pas qu'on ait fait encore pour le mieux; car l'établissement du plancher provisoire, à 8 mèt. au-dessus du sol, a été de quelque dépense. Il a forcé à des mouvemens de matériaux qu'on eût évités, et s'est trouvé gênant, puisque dans cette situation l'atelier ne permettait pas la pose des dernières fermes à fur et mesure de leur construction. Nous pensons qu'on eût dû s'établir sur le sol du manége même. Le gabari y eût été fixé à des poteaux enfoncés en terre et on n'eût pas été obligé de le démonter. Pour le levage on eût employé des mâts ou écoperches qui sont plus en usage dans ce pays, et plus simples que des chèvres, et le quart de conversion se fût exécuté d'autant plus facilement que les écoperches, au moyen de leurs haubans, s'inclinent dans le sens qu'on veut, et que les fermes eussent été d'abord suspendues de plus haut. Huit mètres de plus d'ascension ne sont pas une affaire quand on est en train de hisser, et on eût eu par le moyen dont nous parlons, une assez notable économie de temps et de dépense.

La Rochelle, le 26 décembre 1826.

Signé CONSTANTIN, colonel du Génie

MÉMOIRE

SUR

LA CONSTRUCTION D'UN BARRAGE ÉCLUSÉ,

DANS

LA PLACE ET SUR LA RIVIÈRE DE RAAB EN HONGRIE,

PENDANT LA CAMPAGNE DE 1809.

Par M. DELURET, Chef de bataillon du Génie.

Aussitôt après la prise de Raab, par l'armée d'Italie, le 24 juin 1809, on a cherché à augmenter la force de cette place par différens ouvrages du nombre desquels était un barrage éclusé en travers de la Raab, rivière du même nom que la ville, et coulant au pied de son enceinte, à la gorge d'une demi-lune assez spacieuse et revêtue, qui sert de tête de pont. Cette rivière a 40 mètres de largeur, sur 2 $\frac{1}{2}$ de profondeur; son cours est peu rapide. L'objet du barrage proposé était de mettre 6 à 8 pieds d'eau dans les fossés du corps de place, ainsi que des ouvrages en terre dont il est couvert, et de former une

inondation qui devait gêner beaucoup les communications d'une armée assiégeante.

Cet ouvrage étant résolu, l'emplacement en était fixé naturellement à la gorge de la demi-lune dont on a parlé, et cette position était d'autant plus avantageuse que la rivière se trouvait, dans cet endroit, bordée de deux laisses assez larges et très-favorables pour l'établissement de deux écluses qui pouvaient être construites avec solidité sur un terrain ferme, et rattachées l'une au revêtement de la courtine, l'autre à celui de la gorge de la demi-lune.

Après reconnaissance faite des circonstances locales et des moyens d'exécution que le pays pouvait fournir, on arrêta les dispositions suivantes :

1°. Faire, sur les deux laisses qui bordent la rivière, deux écluses de bois de sapin ; donner à celle de gauche trois passages et à celle de droite quatre, les uns et les autres de 3 mètres de largeur, ce qui ferait en tout 21 mètres et excèderait la moitié de la largeur ordinaire de la rivière.

2°. Unir ces deux écluses par une digue en terre, construite au-dessus et à la faveur d'une file de palplanches maintenues par plusieurs rangs de pilots. L'objet de cette file de palplanches n'était pas de soutenir le massif des terres, mais d'amortir le courant, et de rendre l'eau stagnante pendant la formation de ce massif, qui, au moyen d'une précaution semblable, devait être exécuté sans difficulté.

Ces dispositions étant arrêtées, on a commencé par enfoncer les trois rangs de pilots de la digue

(a, a', a''); le rang intérieur a été borné au pied des berges, mais les rangs supérieur et inférieur ont été avancés dans les laisses, pour se rattacher aux culées des écluses. On a enfoncé ensuite deux amorces de la file de palplanches (b), qu'on a avancée de chaque côté de 5 mètres environ dans le lit de la rivière. Enfin, on a posé les liernes inférieures (c), les tirans (d), et les liernes supérieures (c'), destinés à lier le système. Pl. III. Fig. et 2.

Il est à remarquer que pour soutenir cette file de palplanches on a été obligé de poser trois cours de ventrières (e, e', e''); le premier à la surface, et les deux autres dans la profondeur de la rivière. Pour parvenir à mettre en place ces derniers, on les a fait glisser le long des pilots (a), au moyen de deux palplanches appartenant à la file (b), auxquelles ils étaient attachés. Cela fait, on a posé les autres palplanches dans l'intervalle des deux qu'on venait d'enfoncer. Cette manœuvre a été continuée dans toute la largeur de la rivière, à mesure de l'avancement de l'ouvrage.

Les deux extrémités de la file de palplanches étant ainsi posées, et bien assujetties, on a fait le déblai des écluses dont les terres ont été transportées contre les berges et à l'amont de ces palplanches, pour former les deux amorces de la digue. On a travaillé avec toute l'activité possible à la construction de ces écluses, et jusqu'à leur achèvement on n'a pas avancé la digue davantage, afin que si pendant le cours de l'ouvrage il arrivait quelque

rue, elle pût s'écouler facilement et sans faire aucun mal.

Dès que les écluses ont été finies, on a enfoncé de nouvelles palplanches à la digue, en avançant continuellement vers le milieu de la rivière, et on opérait à mesure le remblai dont les terres étaient fournies par les parties des laisses qu'on enlevait, pour ouvrir le passage à l'amont et à l'aval des écluses. Cette marche a été suivie sans difficulté, jusqu'à ce que la rivière ait été réduite à une largeur de 12 mètres environ. Alors le courant, dont la rapidité s'était accrue progressivement, enlevait les terres à mesure du versement, quoique les écluses fussent ouvertes. A la vérité leurs radiers, qui se trouvaient à un demi-mètre au-dessous de la surface de la rivière, et hors de la direction du courant, ne pouvaient pas évacuer beaucoup d'eau. Il n'avait pas été possible de les établir plus bas, à cause du temps que cette construction, sans doute bien avantageuse, aurait exigé.

On s'est donc empressé de barrer la rivière, en terminant la file de palplanches avec les précautions déjà indiquées. On a employé deux jours à placer les trois cours de ventrières, ainsi que les liernes et tirans, et un jour à enfoncer les palplanches, qui, dans cette partie, n'ont été mises qu'après ces dernières pièces, quoiqu'on les eût constamment mises avant jusqu'alors. Le gonflement de la rivière qui devait suivre leur pose avait nécessité ce changement. Quelque peine qu'on se soit donnée on n'a

pu parvenir à mettre ces palplanches bien jointives, leur pied étant continuellement chassé de part et d'autre par la force du courant qu'il était impossible de maîtriser. Cette difficulté paraîtra naturelle quand on considèrera que la rivière avait alors 4 mètres de profondeur, et qu'elle était extrêmement rapide. Il passait donc une grand quantité d'eau à travers les palplanches et le long des tirans que l'eau surmonta quelques heures après l'enfoncement des palplanches. Ces filtrations formaient un courant qui eût rendu certainement impossible l'achèvement du remblai en terres versées, comme on l'avait fait jusqu'alors.

Pour vaincre un semblable obstacle, on a rempli l'intervalle restant à faire dans le terrassement de la digue par un noyau de sacs à terre jetés entre les deux files supérieures de pilots. Cette manœuvre *faite avec promptitude*, immédiatement après la *pose des dernières* palplanches, a duré environ trois heures, et a consommé sept à huit mille sacs à terre. On en avait rempli seize mille, et on les avait entassés sur les deux amorces de la digue, ainsi que sur les deux écluses, qui, pour cet objet, avaient été couvertes d'un plancher. L'approvisionnement de siége avait fourni cette quantité de sacs, et on avait mis tous les terrassiers à les remplir pendant les trois jours employés à la pose de la charpente.

On doit observer que ces seize mille sacs avaient été remplis pour parer à tout événement, et que si

la file de palplanches avait pu être rendue étanche, ce qui à la vérité n'était guère présumable, on les aurait tous vidés, comme on a fait des huit mille qui restaient.

Ces derniers furent versés sur le devant des précédens. Comme le temps était humide, et le transport à la brouette difficile, à cause de la nature des terres qui contenaient beaucoup d'argile, on rempli de nouveau ces sacs, et les terrassiers les portaient en formant une chaîne continue. S'étant bien trouvé de ce mode de transport, on l'a continué jusqu'à l'achèvement de la digue.

Dès que le noyau en sacs à terre fut formé, les filtrations diminuèrent, sans cependant cesser entièrement. Ce ne fut qu'après un versement continué pendant deux jours que le massif de la digue devint imperméable.

Les eaux continuèrent à s'élever à l'amont du barrage pendant une quinzaine de jours Après cette époque elles suivirent les variations des crues, en se tenant de 1^{m}, 20 environ au-dessus de leur niveau naturel. Cette élévation était causée par celle des radiers et par l'épaisseur des piles des écluses. Cette dernière, en donnant aux eaux une direction oblique vers le milieu des passages, occasionait à leur entrée un bourrelet ou ressaut de 60 centimètres, qui imprimait aux sept courans une très-grande vitesse. La hauteur de ces courans a varié de 60 à 80 centimètres. Ainsi, dans les eaux les plus basses, la section était de 12, 60 mètres carrés.

Pour ne pas interrompre la description des opérations relatives à la construction du barrage, on a passé sous silence les détails des écluses. On va les présenter réunis pour l'écluse de gauche, qu'on a dessinée de préférence à l'autre, parce qu'elle était la moins considérable. (*Voyez* le plan fig. 1re., les deux profils fig. 3 et 4, et celui fig. 5, représentant un des passages sur une échelle double.)

Les passages de cette écluse ont 3 mètres de largeur, et sont séparés par des piles de 60 centimètres d'épaisseur, munies d'un double rang de rainures. Ces piles, dont la longueur est de 6 mètres au sommet, et 9 mètres au pied, à cause des arcs-boutans dont elles sont fortifiées à l'amont et à l'aval, sont composées chacune de huit couples de pilots (*f*) de 6 mètres de longueur, enfoncés de 3 mètres au-dessous du radier, et s'élevant par conséquent de la même quantité au-dessus.

Le radier a 13 mètres de longueur et 1 décimètre de pente du bord supérieur au bord inférieur. Il est borné par deux files de palplanches, et établi sur petits pilots (*g*) de 2 mètres et demi, dont les têtes taillées en tenons portent vingt-trois files de traversines. Quinze d'entre elles, cotées (*h*), traversent les piles sans interruption, et se prolongent jusque derrière les culées. Les huit autres, cotées (*k*), sont interrompues par les pilots (*f*), dans lesquels elles sont aussi assemblées à tenons. Pour parvenir à les poser, une des mortaises, faite dans les pilots, a été allongée supérieurement en forme

de rainure, et on y faisait glisser le tenon de la traversine, en frappant celle-ci à coups de masse. Tous ces assemblages ont été munis avec soin de deux chevilles à chaque tenon.

Après avoir bien dressé le dessus de ces traversines, pour les mettre uniformément dans la pente du radier, on a posé au devant de trois d'entre elles autant de cours de châssis en planches (i, i', i'') de 60 centimètres de largeur, bien assemblés, arasant le dessus des traversines, et s'étendant d'un côté jusqu'au revêtement de la gorge de la demi-lune, de l'autre jusqu'à 1 mètre en dehors de la culée. Ces obstacles devaient arrêter les eaux, en cas qu'elles se fissent jour quelque part sous le radier.

On a garni tous les intervalles et le dessous des traversines en terre grasse bien battue, de manière qu'elle remplît exactement tous les vides, et qu'elle arasât la surface supérieure de ces pièces.

On a posé ensuite les longrines destinées à lier tout le système de la charpente du radier, savoir : celles cotées (l) passant dans l'intérieur de chaque pile, celles (l') embrassant les mêmes piles extérieurement, enfin celles (l'') divisant en trois parties égales la largeur de chaque passage. Toutes ces longrines ont été posées avec encastrement de 3 centimètres sur les traversines laissées entières et sans aucune entaille. Elles ont d'ailleurs été chevillées sur ces pièces, et terminées en queue d'aronde à chaque bout, pour retenir celles des extrémités contre lesquelles les files de palplanches ont été atta-

chées avec de forts boulons à vis et écrous, placés de mètre en mètre.

Sur le grillage ainsi terminé on a posé le premier plancher, de 4 centimètres d'épaisseur, avec chevilles en chêne, munies d'une cale à leur extrémité inférieure; on a fait aux longrines (l', l'') des feuillures arasant ce plancher, et on a posé le second semblable au précédent, et recouvrant exactement ses joints. Ce dernier plancher a été fixé avec chevilles en fer, ébarbées, de 15 centimètres de longueur, et 5 centimètres de diamètre à la tête.

Les longrines (l'') ont été recoupées à l'herminette, au niveau de ce dernier plancher; mais celles cotées (l, l') ont été laissées à leur hauteur naturelle. On a rempli leurs intervalles à l'amont et à l'aval chacun par une longrine plus courte, encastrée sur les traversines, et chevillée comme les autres. Il en est résulté des bandes longitudinales de cinq files de longrines accolées, dont les joints ont été bien calfatés avec de la mousse, et qu'on a ensuite recouvertes d'un plancher dont la largeur est égale à l'épaisseur de la pile, dans le prolongement de laquelle il se trouve, et dont l'élévation est de 4 à 5 centimètres au-dessus des radiers particuliers des passages qui se trouvent ainsi séparés.

Le plancher dont on vient de parler a été prolongé sous les piles, comme on le voit aux endroits cotés (m), afin que si les eaux venaient à s'introduire dans l'intérieur de ces piles, à travers leurs revêtemens, elles ne pussent pas pénétrer sous le

Pl. III. Fig. 4 et 5.

radier. Ce plancher, qui embrasse les pilots, a été fait avec beaucoup de soin, garni de cales, et calfaté en mousse de manière à ne laisser aucun vide.

Le radier étant terminé avec les précautions qu'on vient de détailler, on s'est occupé de l'assemblage des piles pour qu'elles fissent système et ne pussent être ébranlées, soit par la pression de l'eau lorsque l'inondation serait tendue, soit par l'impulsion d'un courant, quelque fort qu'il fût; on a placé à chacune d'elles trois liernes (n, n', n'') fixées à chaque couple de pilots par une cheville en bois de chêne de 4 centimètres de diamètre, les liens en croix de saint André (o) à tenons par le bas et embrèvemens par le haut; les arcs-boutans (q, q'), enfin les chapeaux (p) assemblés à tenons sur les têtes des pilots.

Il est à remarquer que ces pilots ayant été enfoncés cylindriques, et non équarris, on a été obligé de les démaigrir intérieurement pour placer les liernes; qu'ensuite les autres pièces de l'assemblage étant mises en place, on les a démaigries aussi à l'extérieur, pour poser le bordage, qui a été fait en planches de 4 centimètres d'épaisseur, se recouvrant de l'amont à l'aval à toutes les arêtes, particulièrement aux rainures. A mesure qu'on le posait, on remplissait l'intérieur en terre grasse bien foulée avec des dames minces et courtes. Ce bordage a été attaché dans la partie inférieure avec broches en fer, ébarbées, de 10 à 12 centimètres de longueur, et

dans la partie supérieure avec clous de 8 à 10 centimètres.

A la culée contre la demi-lune (fig. 1re.), on voit les pilots ronds, et tels qu'ils ont été enfoncés. A la pile suivante, on les voit démaigris à l'endroit des rainures ; aux extrémités, pour la pose des arcs-boutans (*q*) ; à l'intérieur, pour celle des liernes (*n*) ; et à l'extérieur, pour celle du bordage. Cette pile est représentée dans l'état où elle était avant la pose des chapeaux (*p*). La suivante est vue après la pose de ces chapeaux, et avant celle du plancher dont elle devait être couverte. Enfin, la culée du côté des terres est garnie de ce plancher, et entièrement terminée.

Les avant-becs ont été posés sur le bordage des arcs-boutans d'amont ; chacun d'eux est composé de trois pièces. Celles latérales (*r*), assujetties au pied par *un tenon*, au sommet par un embrèvement avec *brisure* encastrée dans la partie intérieure du pilot, sont en outre fixées aux arcs-boutans et à l'extrémité des liernes par de fortes chevilles en bois. La pièce supérieure (*s*) repose sur les précédentes, au moyen de deux feuillures. Elle est maintenue au pied par un double tenon, embrassée au sommet par les pilots et chapeaux, entre lesquels elle est chevillée, et en outre assemblée, dans sa longueur, à deux tenons pratiqués aux extrémités des liernes inférieures, qu'on a laissées à cet effet dépasser le bordage. Pl. III. Fig. 1, 3 et 6.

Cette pièce est taillée triangulairement, et de ma- Pl. III. Fig. 6.

nière à présenter aux eaux une arête un peu arrondie. La coupe faite perpendiculairement à cette arête montre les détails d'un des avant-becs.

Les piles extrêmes, ou culées, ont été faites comme les autres, et attachées par des bras (*t*), l'une au revêtement de la gorge de la demi-lune, l'autre aux tirans (*u*) de la digue. L'extrémité de cette dernière a été revêtue à l'amont et à l'aval, pour consolider sa jonction avec la culée.

L'avant et l'arrière-radier se prolongent devant le pied de ces revêtemens et s'étendent en largeur jusque derrière les pilots qu'ils embrassent. Ils ont été construits avec le même soin que dans le reste de l'écluse, sur grillage dont les extrémités sont en queue d'aronde, pour retenir la traversine à laquelle les palplanches sont arrêtées.

Derrière chaque culée on a établi solidement trois châssis en planches semblables et correspondant à ceux (*i i' i''*) mis en travers du radier. Ils sont destinés à empêcher les eaux de se frayer un passage, par quelque accident que ce soit, sur les côtés de l'écluse.

La partie antérieure, ou d'amont, de l'extrémité de la digue, a été revêtue en fascinage, et forme une aile qui dirige les eaux à l'entrée de l'écluse.

Les fascines posées sans clayonnage ont été lardées de piquets en tous sens (le plan fig. 1re., et le profil, fig. 7, indiquent cette construction).

On a donné au faux-radier 7 mètres de largeur sur 80 centimètres d'épaisseur. Pour le faire, on a

enfoncé 5 lignes de petits pilots de 2 $\frac{1}{2}$ et 3 mètres de longueur; ensuite on a formé trois lits de fascines alternativement longitudinales et transversales, celles supérieures étant de plus inclinées de manière à se recouvrir du derrière au devant. On a posé sur ce fascinage la traversine (x), les longrines (y), assemblées à tenons sur les têtes des pilots, et en outre chevillées sur la traversine, le recouvrement en madriers (z) contribuant beaucoup à lier le système de la charpente du faux-radier et couvrant la queue des fascines qui présentaient le moins de solidité, tant à cause de leur position inclinée que de leur situation à la chute du radier; enfin on a lardé le fascinage de piquets plantés en tous sens, et si épais, que leurs têtes formaient comme un pavé affleurant le dessus des longrines.

On remarquera que, les parties latérales du faux-radier et de l'arrière-radier s'étendant jusque sur le talus de la berge, on a été obligé de les construire après le reste de l'écluse, au moyen d'un nouveau batardeau appuyé contre la file de palplanches de la digue. Pour prévenir les filtrations qui auraient eu lieu le long de cette file, on a fait au batardeau, à l'endroit de sa jonction, un revêtement intérieur d'un mètre seulement de longueur, aussi en palplanches bien jointives entre elles et avec celles de la digue, dont les deux ventrières inférieures (e' e'') n'avaient été mises qu'à partir de cet endroit, et par conséquent n'ont pas gêné la pose de ce revêtement. Les palplanches qui le compo-

sent ont été ensuite comprises dans la construction du faux-radier.

Le sommet de la digue se trouvant au niveau de l'intérieur de la demi-lune et d'un mètre environ plus élevé que l'écluse, pour empêcher que les eaux dans une crue, surmontant cette dernière, ne détruisissent le talus et ne fissent de grands dommages à la digue, on l'a garanti par un revêtement en planches représenté au profil (fig. 4).

Enfin, pour augmenter la solidité des piles, et en prévenir le déversement au sommet, on a posé en travers de l'écluse cinq longerons équarris à vive arête et de 30 centimètres de côté, avec un encastrement de 10 centimètres sur chaque pile. Leurs extrémités portent d'un côté dans le revêtement de la gorge de la demi-lune, de l'autre dans celui du talus de la digue. Ils sont d'ailleurs maintenus sur les piles par de longs tasseaux chevillés contre les chapeaux. Sur les deux longerons de l'amont est établi un plancher servant à la manœuvre de l'écluse.

Pl. III. Fig. 3, 4 et 5. Les poutrelles destinées à cette manœuvre ont été faites en bois de sapin, à défaut de chêne. Malgré le peu de pesanteur de cette espèce de bois, elles sont allées à fond sans difficulté. A la vérité il n'y avait que 60 centimètres de hauteur d'eau sur le radier, lorsqu'on a fait cette épreuve.

Les pilots de la digue et ceux des piles des écluses ont été enfoncés avec des sonnettes ordinaires. Les pilots des radiers et des faux-radiers, ainsi que toutes les palplanches, l'ont été avec des moutons à

bras du poids de 60 à 70 kilogrammes. Ce mode d'enfoncement a été trouvé préférable, même pour les palplanches des écluses, qui prenaient 2 mètres 50 centimètres de fiche, et a fait abandonner les sonnettes, dont on avait commencé à se servir; il est plus commode, maintient les palplanches plus droites, plus jointives, et conserve beaucoup mieux leurs têtes. A la vérité le terrain se trouvait favorable, il était argileux sur une profondeur d'environ 2 mètres, au-dessous de laquelle on rencontrait une couche de gravier, dans laquelle les palplanches entraient de 40 à 50 centimètres.

Les grands pilots tant à la digue qu'aux écluses ont été armés de sabots à quatre branches, et les palplanches des radiers de bandes en fer pliées, à l'endroit de la pointe, en deux parties qui s'appliquaient sur les côtés minces du bois. On avait préparé des frettes, pour garantir les têtes de ces pilots et palplanches; mais on s'en est peu servi à cause de la qualité du terrain (1).

Raab, le 1er. novembre 1809.

---

(1) On a ajouté au dessin de M. Deluret, un fragment du plan de la place de Raab, pour faire connaître l'ensemble des dispositions défensives auxquelles se rattachait le barrage.

Les Autrichiens avaient eu le projet de barrer la Raab avant la prise de la place par l'armée d'Italie; mais il paraît qu'ils échouèrent dans l'exécution.

Lorsque les troupes françaises durent évacuer Raab, par suite

du traité de paix de Schoenbrunn, le génie reçut l'ordre de faire sauter les fortifications de cette place; il n'oublia pas de détruire en même temps le batardeau éclusé dont on vient de lire la description. Les piles des écluses ont été coupées à la hache; deux fourneaux surchargés, descendus en arrière des culées, ont dispersé la plus grande partie des terres et bouleversé l'enracinement des pilots et du grillage. Les eaux ont dû faire le reste. P. B.

MÉMOIRE

SUR

UN MODE PARTICULIER DE REVÊTEMENT

POUR

LES OUVRAGES DE FORTIFICATION PERMANENTE.

Par M. P. BERGÈRE, Lieutenant-Colonel du Génie.

Il ne s'est pas encore passé une seule session législative sans que les mêmes orateurs qui réclament avec *le plus de chaleur* des économies dans les dépenses du ministère de la guerre, ne demandent en même temps qu'il soit donné plus d'extension à nos moyens de défense, tant personnels que matériels. C'est en quelque sorte un problème que l'on donne à résoudre au talent et au patriotisme : à ce dernier titre, il doit m'être permis d'entrer dans la lice; et quoique les vœux formés par les diverses commissions de finances des chambres puissent paraître contradictoires, du moins en ce qui concerne spécialement le service du matériel du génie, c'est cependant cette partie de la question que je vais essayer de traiter pour un cas tout-à-fait spécial; et

je la réduis à ses plus simples termes : *Faire plus, en dépensant moins.*

Le moyen que je vais proposer n'est pas une invention nouvelle : ce n'est au fond qu'un procédé très-ancien, et je ne réclame pour ma part, si l'on juge mon travail digne de quelque attention, que le mérite d'une application qui m'a semblé heureuse, et qui aurait un haut degré d'utilité, si, comme j'ose l'espérer, l'expérience confirmait mes prévisions

Les constructions en pisé étaient connues de l'antiquité, et on ne peut douter, d'après un passage de Pline le naturaliste, qu'elles n'aient été employées avec succès pour des ouvrages défensifs. Voici ce que rapporte cet auteur sur ce sujet :

« Quid? non in Africâ Hispaniâque ex terrâ pa-
» rietes, quos appellant formaceos, quoniam in
» formâ circumdatis utrâque duabus tabulis infer-
» ciuntur verius, quam instruuntur, ævis durant,
» incorrupti imbribus, ventis, ignibus, omnique
» cemento firmiores? spectat etiam nunc speculas
» Hannibalis Hispania, terrenasque turres jugis
» montium impositas. »

Ainsi, des ouvrages de fortification en pisé, faits par Annibal en Espagne, existaient encore plus de deux siècles et demi après l'époque de leur construction, et sans qu'on eût pris aucuns soins particuliers pour leur conservation.

Ne voit-on pas d'ailleurs dans plusieurs parties de la France des édifices bâtis en pisé durer fort long-

temps, et avoir presque le même degré de solidité que s'ils étaient construits en maçonnerie (1)?

Ce sont donc des revêtemens en pisé que je propose de substituer aux revêtemens en maçonnerie qui coûtent si énormément cher, que presque dans aucune place les projets de fortification n'ont été exécutés tels qu'ils avaient été conçus par les ingénieurs, et que, le plus souvent, par pénurie de fonds, on a été obligé de diminuer la hauteur des escarpes, de ne pas revêtir la contrescarpe et de laisser imparfaits la plupart des ouvrages extérieurs. Mais, objectera-t-on, le pisé qui a pu durer des siècles sous le beau ciel de l'Espagne, et qui réussit même assez bien dans les parties méridionales de la France, résistera-t-il à l'action de l'humidité et aux autres causes de destruction qui, dans les places de la frontière du Nord, par exemple, ont en moins d'un siè-

---

(1) Pendant la rédaction de ce Mémoire, le hasard m'a fourni, si non une preuve, du moins une présomption de la possibilité de faire, même dans le nord de la France, des murs de revêtement dans le genre de ceux que je propose. On voit dans la rue de Clovis à Paris une vieille muraille, que, par sa position, on juge avoir fait partie de l'enceinte de Paris commencée en 1190, sous Philippe Auguste et achevée en 1211. Elle sert de clôture et de mur de terrasse à un jardin dépendant de l'école Polytechnique; elle est coupée à pic perpendiculairement à sa longueur et dans l'alignement de la rue. Ce profil à nu, montre un massif de terre battue, compris entre deux chemises de maçonnerie d'un seul moellon d'épaisseur. L'épaisseur totale du revêtement à sa partie inférieure est de plus de 3 mètres.

cle donné en quelque sorte l'apparence de ruines aux ouvrages élevés à si grands frais par Vauban ? Je répondrai d'abord que ces dégradations prématurées sont bien moins l'effet du climat qu'une suite inévitable du peu de soins apportés à la construction des maçonneries, du mauvais choix des matériaux qu'on y a employés, et aussi de la trop forte inclinaison des paremens des murailles; car on trouve encore dans les mêmes pays des ouvrages de maçonnerie d'une haute antiquité parfaitement conservés, ce qu'on ne peut attribuer qu'à un meilleur mode de construction. Sans doute, on pourrait maintenant, comme on l'aurait pu du temps de Vauban, obtenir un semblable résultat; mais il aurait fallu pour cela augmenter considérablement la dépense, et c'est probablement là ce qui arrêtait Vauban, comme c'est ce qui empêche les ingénieurs militaires de nos jours de faire tout ce que réclament les besoins de la défense.

Il n'est pas nécessaire que j'insiste sur l'économie très-grande qui résulterait de la substitution du pisé à la maçonnerie ordinaire; j'aurai d'ailleurs plus tard l'occasion de la déterminer exactement pour démontrer l'immense avantage, sous ce rapport, du mode de construction que je propose. La chose à laquelle je me suis principalement appliqué, a été de mettre ces constructions à l'abri des causes de destruction résultant de l'action continue de l'air alternativement sec et humide, de la pluie, de la gelée, etc.

On sait que, pour construire un mur en pisé, on fait avec des planches jointives un moule ayant intérieurement la forme du mur, et que c'est dans ce moule que l'on pilone de la terre préparée pour cet objet ; que la masse en séchant prend une grande dureté et ne forme en quelque sorte qu'une seule pierre. Je veux rendre ce moule permanent et autant que possible indestructible, afin qu'il reste comme l'enveloppe du massif de pisé et le garantisse de toutes les causes de destruction dont j'ai parlé précédemment. Pour cela, je le construirai en excellente maçonnerie hydraulique. Cette maçonnerie, quoiqu'elle ait un nom spécial, ne réussit pas moins bien dans l'air que dans l'eau, et il est maintenant hors de doute que la longue durée de quelques ouvrages de maçonnerie des Romains n'est point due à une manière particulière de faire le mortier, mais seulement aux qualités hydrauliques des ingrédiens qui entraient dans sa composition.

Je prendrai pour exemple un mur d'escarpe de 10 mètres de hauteur avec un rechargement de 2 mètres de terre et un talus extérieur d'un vingtième de la hauteur.

En déduisant le profil d'un pareil mur en maçonnerie ordinaire de la formule de M. Français,

$$x = H\sqrt{0,6\frac{p}{p'}\,\text{tang.}^2\tfrac{1}{5}\alpha\,\frac{h^3}{H^3} + \tfrac{1}{3}n^2},$$

dans laquelle H représente la hauteur de l'escarpe, h la hauteur du remblai au-dessus du pied de l'es-

carpe, p le poids de l'unité cubique de terre, et p' le poids de l'unité cubique de maçonnerie ; α l'angle du talus naturel des terres, et n la fraction qui exprime l'inclinaison du talus extérieur du parement : et faisant $H = 10^m$, $h = 12^m$, $n = 0{,}05$, $\alpha = 45_o$, et $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$, on trouve pour l'épaisseur du mur à la base 3^m48, soit 3^m50, et par conséquent 3^m00 au sommet.

J'admets que le sol est incompressible pour faciliter la comparaison des deux moyens de construction. On verra d'ailleurs que cette hypothèse ne change que peu de chose aux résultats, puisque les fondations seront dans les deux cas construites en maçonnerie ; il faudra seulement leur donner un peu plus d'empatement à l'extérieur pour les revêtemens en pisé, mais ce surcroît d'épaisseur sera plus que compensé par l'encastrement du pisé dans la maçonnerie des fondations, attendu que l'empatement des fondations du revêtement en pisé ne devra avoir que $0^m,65$ de plus que celui de l'autre revêtement, ce qui, pour une profondeur de 2 mètres, fait 1,300 mèt. cub. par mètre courant, tandis que l'encastrement produit une économie de 1,535 mèt. cub. dans les mêmes circonstances.

Pour le revêtement en pisé, dans les mêmes suppositions, et en admettant de plus que le poids du pisé massivé soit égal au poids des terres du remblai, on trouve pour l'épaisseur du revêtement en pisé, à sa base, 4^m27, soit 4^m30. Je fais ici deux suppositions qui sont favorables à la stabilité du revêtement, puisque d'une part je ne tiens pas compte

de l'excédant de poids des deux paremens en maçonnerie, et que de l'autre, je prends le poids du remblai pour celui du pisé, tandis qu'il est évident qu'un remblai, quelque bien damé qu'il soit, ne le sera jamais au même degré qu'un mur en pisé.

Si on voulait consolider le revêtement par des contreforts, ils fourniraient un surcroît de solidité qui serait encore plus avantageux, sous le point de vue militaire, dans les revêtemens en pisé que dans les revêtemens en maçonnerie, puisque ces contreforts seraient plus éloignés du parement extérieur, et rendraient par conséquent plus difficile l'établissement des brèches. Je crois que ces contreforts devraient être faits entièrement en maçonnerie pour les revêtemens en pisé : il sera donc inutile de les comprendre dans l'évaluation de la dépense pour déterminer la différence de prix des deux modes de construction. Si cependant on voulait faire les contreforts en pisé avec enveloppe de maçonnerie, ce serait encore un avantage, sous le rapport de l'économie, pour les revêtemens en pisé ; mais j'en ferai abstraction.

Cela posé, les fig. 1, 2, 3 et 4 représentent pour une même hauteur de 10 mètres d'escarpe, les plans et profils d'un revêtement en maçonnerie pleine, et d'un revêtement mixte en maçonnerie et pisé. Je vais expliquer avec détail de quelle manière ce dernier revêtement sera construit. Planc. IV.

On sait (voir la note 10 du nouveau devis instructif pour les travaux du génie) que toutes les

terres dites végétales sont en général propres à faire des constructions en pisé, ainsi que les terres grasses ou argiles franches dont on se sert pour faire les grosses briques et les tuiles communes, et que les terres fortes mêlées de petits graviers sont les meilleures qu'on puisse employer. On est donc à peu près sûr que le mode de construction dont il s'agit pourra être mis en usage dans toutes les localités.

La préparation de la terre se borne à fouiller le sol à une profondeur de $0^{m},70$ à $1^{m},00$; à casser les mottes avec la tête de la pioche, ou avec la pelle, pour bien diviser la terre. On la relève ensuite en tas, et on enlève avec un râteau les pierres ou cailloux au-dessus de la grosseur d'une noix. On ne prépare ainsi que la terre nécessaire pour le travail d'une journée, en ayant soin de couvrir les tas, en cas de pluie, attendu que la terre mouillée n'est plus propre à faire du pisé. Si l'on travaille par une grande sécheresse, il est quelquefois nécessaire d'asperger légèrement la terre avec un arrosoir de jardinier, en la remuant à mesure avec une pelle, pour qu'elle soit humectée bien également. Mais il suffit que la terre soit seulement un peu humide, de manière qu'en en prenant une poignée, elle puisse, étant jetée sur le tas, conserver la forme qu'on lui a donnée en la pressant un peu dans la main. Il est essentiel de retirer de la terre destinée à faire du pisé, tous les végétaux, les racines, et généralement tous les corps qui se-

raient susceptibles de pourrir dans le sein de la terre.

Les fondations étant établies en maçonnerie à l'ordinaire, sauf un encastrement de 0^m 50 de profondeur, compris entre les faces intérieures des deux massifs de maçonnerie enveloppant le pisé, lesquels massifs auront, savoir : celui du devant 0^m 80 d'épaisseur à la base, et 0^m 30 au sommet, avec inclinaison de $\frac{1}{10}$ au parement extérieur ; et celui de derrière 0^m 40 d'épaisseur avec ses deux paremens verticaux ; on arasera le fond de l'encastrement bien de niveau, mais sans cependant rendre la surface trop unie.

On étendra sur le fond de l'encastrement une couche de mortier de un ou deux centimètres d'épaisseur, et on fouettera contre les parois verticales un enduit du même mortier d'un centimètre d'épaisseur et sur une hauteur d'un décimètre seulement ; on aura soin de ne pas l'unir avec la truelle et de le laisser au contraire raboteux.

Les piseurs seront placés de 3 en 3 mètres sur le développement de la face à construire, et dans le cas particulier dont il s'agit, on pourra en employer un double rang, eu égard à l'épaisseur du revêtement.

Les manœuvres porteront aux piseurs la terre toute préparée, ainsi qu'il a été dit plus haut, et dans des corbeilles d'osier. Cette terre sera étalée avec les pieds, de manière à former une couche d'une épaisseur uniforme et qui ne devra pas dépasser 0^m, 10; ensuite les piseurs la massiveront

avec le pisoir de manière à la réduire à peu près à la moitié de son épaisseur ; cela fait, les manœuvres apporteront de la terre préparée pour former une couche de même épaisseur que la première et qui sera massivée de même.

Avant de faire de nouvelles couches, on continuera l'enduit en mortier sur les deux parois et sur une hauteur d'un décimètre, et l'on massivera ensuite en deux fois la terre sur cette même hauteur d'un décimètre. On répètera la même opération jusqu'à l'arasement des maçonneries de la fondation, c'est-à-dire jusqu'au niveau du sol. Alors les maçons se remettront à l'ouvrage et élèveront les deux parois hors de terre sur une hauteur de $0^{m},50$, en laissant les paremens intérieurs raboteux ; ils formeront de la sorte un nouvel encaissement dans lequel les piseurs se placeront aussitôt pour élever de la même hauteur le remplissage en pisé, en suivant en tout point la méthode que je viens d'indiquer pour l'encastrement des fondations, c'est-à-dire qu'après avoir enduit de mortier les parois sur une hauteur de $0^{m},10$, ils massiveront en deux fois le pisé sur une même hauteur, qu'ils recommenceront de même pour une nouvelle hauteur d'un décimètre, et continueront ainsi jusqu'à l'arasement du coffrage en maçonnerie.

On aura soin, chaque fois que les maçons auront terminé une portion du coffrage, de recouvrir l'arase des maçonneries avec des planches, afin d'empêcher les piseurs d'y répandre de la terre, et pour

éviter aussi qu'en marchant dessus on ne dégrade l'ouvrage. Il faudra aussi, à chaque reprise de la maçonnerie, bien nettoyer et imbiber d'eau le lit de l'arase inférieure. Je n'ai pas besoin d'ajouter que vu le peu d'épaisseur des murs-enveloppes, ils devront être maçonnés avec toute l'attention possible, que le mortier devra remplir bien exactement tous les lits et joints, et que les pierres ou les briques dont les murs seront formés, devront être trempées au moment de leur emploi.

Il sera bon de diviser la longueur de l'ouvrage en deux parties, de manière que les maçons travaillant d'un côté et les piseurs de l'autre, ils se succèdent alternativement dans chaque partie. On évitera par là des pertes de temps et un trop grand encombrement d'ouvriers sur les mêmes points. Peut-être serait-il convenable, avant de commencer une reprise de *pisé*, d'*étendre* sur la surface de la reprise inférieure une légère couche de mortier : c'est ce que l'expérience enseignera.

On enduira extérieurement la paroi du côté des terres d'une bonne couche de mortier hydraulique : cet enduit se fera au fur et à mesure de l'élévation du coffrage ; et comme la bonne conservation de tout l'ouvrage dépendra en partie de la solidité de cet enduit et surtout de son imperméabilité à l'eau, je vais entrer dans quelques détails sur la manière dont il faudra l'exécuter.

Après avoir bien nettoyé et brossé le parement de la maçonnerie, on le mouillera bien, en ayant soin

de lancer de l'eau dans tous les joints, puis on fouettera dans les joints seulement du mortier avec la truelle, et on l'y fera entrer à force, en le pressant avec la pointe de l'outil ou avec une spatule; on laissera prendre à ce mortier une bonne consistance; on fouettera de nouveau et avec force du même mortier sur toute la surface à enduire, en regrattant avec le tranchant de la truelle le mortier qui paraîtrait vouloir se détacher de la maçonnerie, et l'on continuera cette opération jusqu'à ce qu'on ait couvert environ le tiers ou la moitié d'un mètre carré, plus ou moins, suivant que le mortier sèchera plus ou moins vite, en donnant à la couche d'enduit une épaisseur de $0^{m},03$ au plus : on laissera ce mortier jusqu'à ce qu'il ait pris assez de consistance pour résister un peu à la pression du doigt, et alors on l'unira avec la truelle ; et, suivant que la dessication sera plus ou moins accélérée, on y repassera la truelle pendant plusieurs jours et avec force, et l'on finira par employer de petites spatules en fer, pour reboucher les fissures qui se forment ordinairement dans ces sortes de crépis.

Le mortier de l'enduit devra être composé de deux parties de sable, d'une partie de pouzzolane, soit naturelle, soit artificielle, et d'une partie de chaux hydraulique éteinte et mesurée en pâte.

Dès que l'enduit ne montrera plus de fissures, il faudra remblayer contre, en damant bien les terres, et en les humectant un peu si cela est nécessaire.

Quant à la paroi faisant le parement du mur,

soit qu'elle doive être rejointoyée ou crépie, on fera l'opération au fur et à mesure de la construction de la maçonnerie; mais si, pour avoir un parement d'une couleur plus uniforme, on préférait ne faire l'enduit qu'après l'achèvement du mur, il faudrait laisser les joints de la maçonnerie ouverts et bien dégagés de mortier, afin de mieux harper le mortier lorsqu'on ferait le crépissage, lequel d'ailleurs devrait être de la même nature et appliqué de la même manière que l'enduit du parement du côté des terres.

Lorsque les deux parois de l'enveloppe seront montées à la hauteur voulue, et que l'intérieur sera entièrement rempli de pisé, on établira sur la surface supérieure bien dressée un pavé en briques, ou moellons de champ, et mortier hydraulique, ou même une simple couche de béton de 0^{m}, 05 d'épaisseur, et terminés par un enduit de même espèce que celui qui aura été appliqué contre le parement intérieur du revêtement.

Je viens de décrire le travail à faire dans la supposition d'un fossé entièrement sec; s'il s'agissait d'un revêtement baigné par les eaux, le procédé serait encore applicable, seulement il faudrait renforcer la chemise extérieure du revêtement par un massif de maçonnerie hydraulique, qui s'élèverait depuis le fond de l'encastrement jusqu'au niveau des plus hautes eaux. Il suffirait que ce répaississement eût 1 mètre de largeur pour une hauteur d'eau de 2 mètres; pour une plus grande hauteur d'eau, on augmenterait cette épaisseur, si on le jugeait conve-

nable, ce qui dépendrait nécessairement du plus ou moins de bonté de la maçonnerie.

On pourrait craindre que le pisé, restant enfermé dans son enveloppe de maçonnerie, n'acquît jamais un degré de durcissement suffisant. Si cela avait lieu, ce que je suis loin de croire, il faudrait saupoudrer les couches de pisé, au fur et à mesure de leur formation, avec de la chaux vive réduite en poussière. Cette chaux hâterait la dessication du pisé, par l'absorption d'une partie de l'eau qui y serait contenue.

Je vais maintenant déterminer l'économie qui résulterait de l'emploi de ce procédé pour 1 mètre courant d'escarpe de 10 mètres de hauteur, tel que celui qui m'a servi d'exemple, et je ferai tout-à-fait abstraction des fondations, qui, ainsi qu'on l'a vu, coûteront moins pour un revêtement en pisé que pour un revêtement plein en maçonnerie; mais je suppose que la différence couvrira les frais de l'enduit du fond et des côtés de l'encastrement. Je me servirai du bordereau de la place de Lille, et je prendrai le cas le plus défavorable, en admettant que, pour le revêtement maçonné plein, on aura employé de la maçonnerie au meilleur marché (maçonnerie de briques en mortier de première espèce, chaux du pays, et sable de Saint-Omer, coûtant 17 fr. 50 c. le mètre cube); et que pour l'enveloppe du pisé on aura, au contraire, employé de la maçonnerie de briques et mortier de cendrée, coûtant 21 fr. 60 c. le mètre cube.

Dans le premier cas, le mètre courant d'escarpe, cubant 32,500 mèt. cub., coûtera, à raison de 17 fr. 50 c. le mètre cube, 568 fr. 75 c.; dans le second cas, on aura, pour 1 mètre courant d'escarpe,

	fr.	c.
9,500 mètres cubes de maçonnerie hydraulique à 21 fr. 60.	205	20
31,000 mèt. cub. de pisé à 1 fr..	31	00
0,250 mèt. cub. de mortier hydraulique pour l'enduit intérieur du coffrage en maçonnerie, à 27 fr. 10.	6	78
10,00 mèt. carr. d'enduit hydraulique pour le parement du côté des terres, à 1 fr. 50. . .	15	00
Total.	257	98

ce qui fait une différence de 310 fr. 77 c. par mètre courant d'escarpe, et ce qui donne, pour l'escarpe développée d'un bastion ordinaire dont la longueur serait de 316 mètres, une économie de 98.203 fr. 32 c. *Les dépenses*, dans les deux cas, seraient à peu près entre elles comme les nombres 95 et 43.

Je ferai remarquer que dans la plupart des places où l'on pourra se procurer à bon marché de la chaux hydraulique ou des pouzzolanes, soit naturelles, soit artificielles, le bénéfice sera proportionnellement bien plus considérable, puisque dans ces places toutes les constructions doivent être nécessairement faites en maçonnerie hydraulique.

Ainsi, par exemple, à Metz, où l'on ne fait que de la maçonnerie hydraulique, le mètre courant de revêtement plein coûterait 345 fr. 15 c.; et le même,

en pisé, coûterait 141 fr. 77 c. Les dépenses, dans les deux cas, seraient donc à peu près comme 17 et 7.

A Péronne, où l'emploi des arènes donne un mortier hydraulique qui coûte moins cher que le mortier ordinaire, parce que le sable d'arène est à meilleur marché que le sable ordinaire, et demande moins de chaux dans le dosage, la différence serait encore plus grande.

Mais je ne pousserai pas plus loin ces comparaisons, et j'en ai dit assez pour montrer qu'il n'est aucune place dans laquelle on ne pût obtenir de très-grandes économies sur la dépense des ouvrages neufs de fortification, par l'adoption des revêtemens mixtes.

J'ai calculé l'économie qui résulterait de l'application complète de ce procédé à un front entier de Cormontaingne : le tableau ci-contre présente le résumé de ces calculs. J'ai déterminé les épaisseurs des revêtemens dans les deux cas d'après les formules de M. Français, et je suppose que pour tous les revêtemens les dimensions en épaisseur de l'enveloppe en maçonnerie seront les mêmes que pour les cas particuliers que je viens de traiter avec détail. Il est cependant à remarquer que pour quelques-uns de ces murs on pourrait peut-être diminuer l'épaisseur de l'enveloppe, et même la supprimer entièrement du côté des terres : cela dépendra de la nature des terres du remblai, et de la bonté de la maçonnerie.

Je fais abstraction des poternes, pas de souris, rampes, aquéducs, et généralement de toutes les

Des dimensic

DÉSIGNATION DES REVÊTEMENS.	Longueur développée.	Haut	Surface de l'enduit.
			ièt. car.
Escarpe du corps de place. . .	438m. 00	10m.	4380
Escarpe de la demi-lune. . . .	243, 40	8,	1093
Escarpe du réduit de d.-lune.	140, 80	7,	986
Escarpe de la tenaille.	114, 50	5,	573
Escarpes des deux réduits de place d'armes	136, 00	5,	707
Contrescarpes des deux bastions.	99, 00	8,	792
Contrescarpe de la demi lune .	195, 00	7,	1522
Contrescarpes des deux réduits de place d'armes.	160, 00	3,	608
Gorge de la tenaille.	110, 20	3,	424
Murs en aile de la tenaille. .	31, 40	5,	166
Gorge de la demi-lune.	165, 00	5,	913
Gorge du réduit de la d.-lune.	67, 40	6,	425
Gorges des deux réduits de place d'armes.	160, 00	8,	1408
Profils de la demi-lune.	42, 60	8,	341
Ressauts du fossé du réduit de la demi lune.	44, 00	4,	176
Ressauts des fossés des deux réduits de place d'armes. . .	29, 60	4,	118
			15632

constructions accessoires, parce que je suppose qu'elles seront établies de la même manière dans les deux cas, c'est-à-dire toutes en maçonnerie. Il en est de même des chaînes d'angle, tablettes, et généralement de toutes les parties de maçonnerie en pierre de taille, qui se feront également pour les revêtemens ordinaires et pour les revêtemens mixtes. J'ai déjà dit que pour ces derniers les contreforts seraient en maçonnerie pleine.

La figure 5 représente le tracé de la magistrale de tous les ouvrages, et en général de toutes les maçonneries. J'ai calculé tous les profils des revêtemens dans les deux hypothèses, et c'est d'après les dimensions données par le calcul, que j'ai déterminé tous les élémens du tableau ci-contre.

Ainsi, déduction faite des dépenses communes aux deux systèmes de construction, on aura, dans le cas d'un revêtement plein, et pour un front complet de Cormontaingne :

36.798 mètres cubes de maçonnerie ordinaire, à 17 fr. 50 c.	643.965 fr.

Et dans le cas d'un revêtement mixte en maçonnerie hydraulique et pisé :

14.067 mètres cubes de maçonnerie hydraulique, à 21 fr. 60 c.	303.847 fr.
31.924 mètres cubes de pisé, à 1 fr. . .	31.924
Total à reporter. . .	335.771 fr.

Report.	335.771 fr.
392 mètres cubes de mortier hydraulique pour les enduits intérieurs du coffrage, à 27 fr. 10 c.	10.623
15.632 mètres carrés d'enduit hydraulique pour le parement du côté des terres, à 1 fr. 50 c.	23.448
Total.	369.842 fr.
La différence pour un front est donc de.	274.123 fr.

Ce résultat est donné par les prix de Lille; il serait plus avantageux à Metz, et plus encore à Péronne.

Si l'on voulait appliquer le système des revêtemens en pisé à une enceinte continue pour Paris, en prenant pour base approximative le tracé des ouvrages construits ou projetés en 1815, et évaluant le développement de cette enceinte à 80 fronts bastionnés, de 360 mètres de côté extérieur, avec escarpe de 10 mètres de hauteur, et contrescarpe de 8 mètres, sans dehors ni ouvrages extérieurs revêtus, on aurait, pour le cas des revêtemens ordinaires, et en se servant du bordereau actuel de la place de Paris :

1°. Pour 1 mètre courant d'escarpe, 32,500 mètres cubes de maçonnerie de moëllons et mortier ordinaire, à 20 fr. 65 c.	671 fr	13
2°. Pour un mètre courant de contrescarpe 15,800 mètres cubes de maçonnerie de moëllons et mortier ordinaire, à 20 fr. 65 c. . . .	326	27

Et dans le cas des revêtemens mixtes en maçonnerie hydraulique et pisé :

1°. Pour 1 mètre courant d'escarpe.	9,500 mètres cubes de maçonnerie hydraulique, à 23 fr. 25 c.	220 fr.	88
	31,000 mèt. cub. de pisé, à 1 fr. 50 c	46	50
	0,250 mèt. cub. de mortier hydraulique, à 35 fr.	8	75
	10,00 mètres carrés d'enduit hydraulique, à 2 fr.	20	00
	Total.	296 fr.	13

2°. Pour 1 mètre courant de contrescarpe.	7,200 mètres cubes de maçonnerie hydraulique, à 23 fr. 25 c.	167 fr.	40
	13,000 mètr. cub. de pisé, à 1 fr. 50 c.	19	50
	0,200 mèt. cub. de mortier hydraulique, à 35 fr.	7	00
	8,00 mètres carrés d'enduit hydraulique, à 2 fr.	16	00
	Total.	209 fr.	90

Différence par mètre courant d'escarpe.	375 fr. 00
Différence par mètre courant de contrescarpe.	116 fr. 37

Ainsi la différence pour un front serait, savoir :

438 mètres d'escarpe, à 375 fr.	164.250 fr. 00
392m, 50 de contrescarpe, à 116 fr. 37 c.	45.675 fr. 23
Total pour un front.	209.925 fr. 23
Et pour 80 fronts.	16.793.018 fr. 40

Et si l'on fait attention que j'ai fait complétement abstraction des dehors et des ouvrages extérieurs, on ne peut évaluer à moins de 20 millions de francs l'économie que procurerait l'application du procédé dont il s'agit à la construction d'une place de guerre à Paris. Cette seule considération suffirait, je pense, pour décider à faire l'essai des revêtemens en pisé ; car personne ne nie qu'il ne fût très-convenable de mettre la capitale de la France à l'abri des suites funestes d'une invasion, et l'énormité de la dépense a seule fait ajourner indéfiniment tous les projets qui ont été présentés pour cet objet depuis Vauban jusqu'à nos jours. Peut-être une réduction aussi notable dans les dépenses pourrait-elle, en atténuant la seule objection fondée faite à tous ces projets, déterminer le gouvernement à adopter une mesure que réclame impérieusement la défense et même le salut de l'état (1).

---

(1) Le maréchal de Vauban dans un écrit intitulé : *De l'importance dont Paris est à la France, et le soin que l'on doit prendre de sa conservation*, prouve politiquement et militairement la nécessité de fortifier Paris. Ce Mémoire a été imprimé en 1821, à une époque où beaucoup de militaires instruits s'occupaient de la question qui y est traitée. Vauban donne le détail du tracé de la place, il indique la quantité des approvisionnemens nécessaires à la défense, et il évalue le temps de la construction à douze années, et la dépense à vingt-cinq millions.

Il est bien évident que ces évaluations ne conviendraient plus aujourd'hui ; mais les principes généraux d'après lesquels le maréchal de Vauban disposait la défense de Paris devraient encore servir de règle maintenant, et comme l'étendue de la place serait

Il est encore une considération à faire valoir, c'est que l'adoption des revêtemens mixtes per-

---

beaucoup plus considérable qu'elle ne l'eût été dans le temps de Louis XIV, toutes les propriétés militaires de cette immense forteresse seraient augmentées dans la même proportion.

Napoléon a fait connaître, dans ses Mémoires, qu'il avait eu l'idée de fortifier la capitale de la France. Ce n'est pas ici le lieu de discuter les motifs qui ont pu l'empêcher d'exécuter ce projet. J'ai eu occasion de lire dans un chapitre inédit de sa vie politique et militaire racontée par lui-même au tribunal de César, d'Alexandre et de Frédéric, un passage que l'on peut regarder comme la véritable expression de son opinion sur ce sujet Je n'en rapporterai que ce qui est relatif à la question considérée politiquement.

..... « Je pensais qu'une grande capitale renferme l'élite » de la nation; qu'elle est le centre de l'opinion, le dépôt de » tout; et que c'est la plus grande des contradictions que de » laisser un point aussi important sans défense immédiate. Aux » époques de malheurs et de grandes calamités, les états man- » quent souvent de soldats, mais jamais d'hommes pour leur dé » *fense intérieure.* Cinquante mille gardes nationaux, deux à » trois mille canonniers défendront une capitale fortifiée contre » une armée de 300.000 hommes. Ces cinquante mille hommes » en rase campagne, s'ils ne sont pas aguerris et commandés par » des officiers expérimentés, seront mis en désordre par une » charge de quelques milliers de chevaux. Paris avait dû plu- » sieurs fois son salut à ses murailles. Si en 1805, Vienne eût été » défendue, la bataille d'Ulm n'eût pas décidé de la guerre ; si en » 1806, Berlin avait été fortifiée, l'armée prussienne battue à » Iéna s'y fût ralliée et l'armée russe l'y eût rejointe ; si en 1808, » Madrid avait été fortifiée, l'armée française, après les victoires » d'Espinosa, de Tudela, de Burgos et de Sommo-Sierra, n'eût » pas osé marcher sur cette capitale, en laissant derrière elle » l'armée anglaise et l'armée espagnole vers Salamanque et Valla- » dolid. Enfin ce furent les fortifications de Vienne, qui sauvè- » rent deux fois l'Europe du sabre des musulmans. »

mettrait d'établir des fortifications dans certaines localités, avec une dépense assez modérée, tandis qu'il serait peut-être difficile, même en y sacrifiant beaucoup d'argent, d'y construire des ouvrages permanens, par le manque de matériaux convenables. Ainsi, par exemple, à Vitry-le-François, où l'on a l'intention d'entreprendre des travaux de fortifications considérables, le pays ne fournit ni pierres ni briques, et ceux de ces matériaux qu'on y emploie coûtent fort cher, et sont d'assez médiocre qualité; mais on est certain d'y pouvoir fabriquer à peu de frais d'excellente chaux hydraulique. On pourrait donc, au moyen de l'emploi du pisé, faire une très-grande économie sur les revêtemens, et consacrer une partie de cette économie à se procurer des pierres de bonne qualité, ou à fabriquer sur place des briques meilleures que celles que l'on y fait actuellement pour construire les murs-enveloppes des revêtemens en pisé. On pourrait même, dans ce cas, faire l'enveloppe en maçonnerie de blocailles, en employant la chaux hydraulique du pays, et les galets de diverses grosseurs qu'on trouverait en abondance dans le lit de la Marne, et alors il n'est pas douteux que l'on ne pût économiser près des trois quarts de la dépense pour les maçonneries de revêtemens.

Si les terres du remblai étaient de nature à faire craindre qu'une grande quantité d'eau les pénétrât pour venir le long du revêtement, on établirait,

dans le cas d'un fossé sec, par exemple, des barbacanes à travers la masse du mur, et venant déboucher à quelques décimètres au-dessus du fond du fossé, avec une pente suffisante pour l'écoulement des eaux qui seraient réunies à leur orifice intérieur par des plans inclinés, en terre glaise, qu'on recouvrirait de pierrailles et de décombres pour laisser passage aux eaux. Les figures 6 et 7 montrent cette disposition. Dans le cas d'un fossé plein d'eau, on ferait déboucher extérieurement les barbacanes au-dessus du niveau de l'eau. On améliore encore cette disposition en adossant au revêtement un massif continu en pierres sèches, ainsi qu'on l'a pratiqué dans plusieurs places, et notamment à Verdun contre des revêtemens pleins, et à Auxonne contre des revêtemens en décharge. Planc. V.

Je vais maintenant appliquer le mode de construction en pisé aux revêtemens en décharge, et j'espère montrer qu'il procurera non-seulement une assez grande économie dans les dépenses, mais encore une notable amélioration dans ce genre de revêtemens, qui, ce me semble, sont exécutés de telle manière qu'ils perdent une partie de leurs avantages militaires. Mais je prends d'abord les choses comme elles sont, et je choisis pour exemple le revêtement en décharge construit en 1818, 1819 et 1820, à Péronne, entre les tours 23 et 26 du corps de place. Les détails de ce revêtement sont donnés par les figures 8, 9 et 10. Planc. VI.

Mais qu'on me permette d'abord une courte di-

gression sur ce travail : les dimensions du profil avaient été calculées de manière à procurer au revêtement en décharge la même stabilité qu'au profil de Vauban, sauf toutefois le mur d'escarpe au-dessus des voûtes, qui aurait dû avoir $1^{m},50$ au lieu de $1^{m},30$ en calculant son épaisseur pour le point de sa plus grande hauteur, c'est-à-dire pour la partie correspondante à l'arête rentrante des chapes; d'ailleurs les soins apportés au choix des matériaux et aux détails de construction, donnaient la garantie que ce revêtement était tout à fait irréprochable sous le rapport de l'exécution. Cependant, six mois après l'entier achèvement du rempart, il s'est manifesté un léger mouvement : la queue des pieds-droits, à partir du parement intérieur des passages voûtés qui les traversent, a éprouvé un tassement plus considérable que le mur de face et les parties des pieds-droits qui lui sont adjacentes; ce qui a occasioné des lésardes à la clef des petites voûtes des passages et aux pieds-droits, à l'aplomb du parement des mêmes passages du côté des terres; de plus, quelques voûtes ont été lésardées, et le mur de masque s'est un peu avancé en dehors et a éprouvé un léger affaissement vers son milieu.

On ne peut pas évidemment attribuer ces divers effets au petit défaut d'épaisseur que j'ai signalé plus haut dans le mur d'escarpe au-dessus des voûtes, et comme ces effets sont parfaitement analogues à ce qui a été observé à d'autres revêtemens de

même nature, et dont les dimensions, quoique établies avec moins de précision que ne l'ont été celles du revêtement de Péronne, étaient cependant suffisantes pour assurer un degré convenable de stabilité, j'ai cru que ces accidens dérivaient des mêmes causes, savoir : de la compressibilité du sol et d'une inégale pression exercée par les pieds-droits des voûtes en décharge, et par le mur de masque, et un peu aussi de l'existence des ouvertures pratiquées dans les pieds-droits.

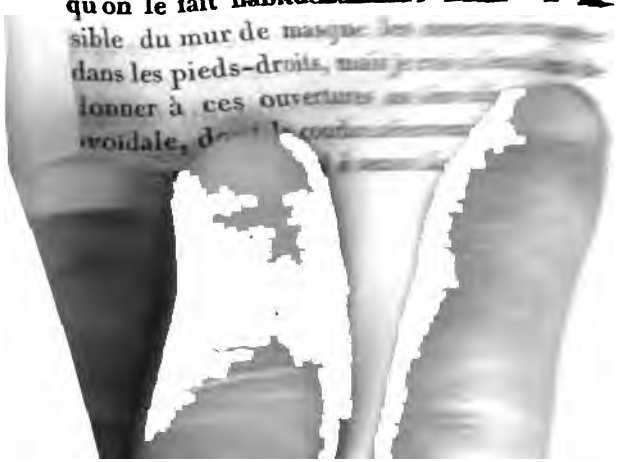
Lorsqu'on ne juge pas à propos de détruire la première de ses causes en établissant un pilotage sous les fondations, ce n'est qu'en donnant de l'empatement à ces dernières qu'on peut éviter en partie leur tassement ou plutôt leur enfoncement; mais il faut en outre que la pression sur l'unité de surface du plan inférieur des fondations soit à peu près constante pour toute l'étendue de ces fondations, afin que la compression soit uniforme et que toutes les parties s'enfoncent d'une même quantité, sans quoi il y aurait inégalité de tassement, et par suite rupture dans les maçonneries. Quant à la troisième cause, si légère qu'elle soit, on ne doit pas la négliger, et pour cela il faut non-seulement, ainsi qu'on le fait habituellement, éloigner le plus possible du mur de masque les ouvertures pratiquées dans les pieds-droits, mais je crois qu'il serait bon de donner à ces ouvertures une forme elliptique ou voïdale, dont la courbure inférieure serait enfoncée au-dessous du sol des casemates. L'avantage de

gression sur ce travail : les dimensions du profil avaient été calculées de manière à procurer au revêtement en décharge la même stabilité qu'au profil de Vauban, sauf toutefois le mur d'escarpe au-dessus des voûtes, qui aurait dû avoir 1m,50 au lieu de 1m,30 en calculant son épaisseur pour le point de sa plus grande hauteur, c'est-à-dire pour la partie correspondante à l'arête rentrante des chapes; d'ailleurs les soins apportés au choix des matériaux et aux détails de construction, donnaient la garantie que ce revêtement était tout à fait irréprochable sous le rapport de l'exécution. Cependant, six mois après l'entier achèvement du rempart, il s'est manifesté un léger mouvement : la queue des pieds-droits, à partir du parement intérieur des passages voûtés qui les traversent, a éprouvé un tassement plus considérable que le mur de face et les parties des pieds-droits qui lui sont adjacentes; ce qui a occasioné des lésardes à la clef des petites voûtes des passages et aux pieds-droits, à l'aplomb du parement des mêmes passages du côté des terres; de plus, quelques voûtes ont été lésardées, et le mur de masque s'est un peu avancé en dehors et a éprouvé un léger affaissement vers son milieu.

On ne peut pas évidemment attribuer ces divers effets au petit défaut d'épaisseur que j'ai signalé plus haut dans le mur d'escarpe au-dessus des voûtes, et comme ces effets sont parfaitement analo[gues] à ce qui a été observé à d'autres revête[ments]

même nature, et dont les dimensions, quoique établies avec moins de précision que ne l'ont été celles du revêtement de Péronne, étaient cependant suffisantes pour assurer un degré convenable de stabilité, j'ai cru que ces accidens dérivaient des mêmes causes, savoir : de la compressibilité du sol et d'une inégale pression exercée par les pieds-droits des voûtes en décharge, et par le mur de masque, et un peu aussi de l'existence des ouvertures pratiquées dans les pieds-droits.

Lorsqu'on ne juge pas [illegible] la première de ses causes [illegible] sous les fondations, ce [illegible] patement à ces dernières [illegible] leur tassement ou plutôt [illegible] faut en outre que la pressi[illegible] plan inférieur des fondat[illegible] stante pour toute l'étendue [illegible] que la compression soit u[illegible] parties s'enfoncent d'une [illegible] il y aurait inégalité de tass[illegible] ture dans les maçonneries [illegible] cause, si légère qu'elle soit [illegible] gliger, et pour cela il faut [illegible] qu'on le fait habituellement [illegible] sible du mur de masque [illegible] dans les pieds-droits, mais [illegible] donner à ces ouvertures [illegible] voidale, d[illegible]



gression sur ce travail : les dimensions du profil avaient été calculées de manière à procurer au revêtement en décharge la même stabilité qu'au profil de Vauban, sauf toutefois le mur d'escarpe au-dessus des voûtes, qui aurait dû avoir 1^{m},50 au lieu de 1^{m},30 en calculant son épaisseur pour le point de sa plus grande hauteur, c'est-à-dire pour la partie correspondante à l'arête rentrante des chapes; d'ailleurs les soins apportés au choix des matériaux et aux détails de construction, donnaient la garantie que ce revêtement était tout à fait irréprochable sous le rapport de l'exécution. Cependant, six mois après l'entier achèvement du rempart, il s'est manifesté un léger mouvement : la queue des pieds-droits, à partir du parement intérieur des passages voûtés qui les traversent, a éprouvé un tassement plus considérable que le mur de face et les parties des pieds-droits qui lui sont adjacentes; ce qui a occasioné des lésardes à la clef des petites voûtes des passages et aux pieds-droits, à l'aplomb du parement des mêmes passages du côté des terres; de plus, quelques voûtes ont été lésardées, et le mur de masque s'est un peu avancé en dehors et a éprouvé un léger affaissement vers son milieu.

On ne peut pas évidemment attribuer ces divers effets au petit défaut d'épaisseur que j'ai signalé plus haut dans le mur d'escarpe au-dessus des voûtes, et comme ces effets sont parfaitement analogues à ce qui a été observé à d'autres revêtemens de

même nature, et dont les dimensions, quoique établies avec moins de précision que ne l'ont été celles du revêtement de Péronne, étaient cependant suffisantes pour assurer un degré convenable de stabilité, j'ai cru que ces accidens dérivaient des mêmes causes, savoir : de la compressibilité du sol et d'une inégale pression exercée par les pieds-droits des voûtes en décharge, et par le mur de masque, et un peu aussi de l'existence des ouvertures pratiquées dans les pieds-droits.

Lorsqu'on ne juge pas à propos de détruire la première de ses causes en établissant un pilotage sous les fondations, ce n'est qu'en donnant de l'empatement à ces dernières qu'on peut éviter en partie leur tassement ou plutôt leur enfoncement; mais il faut en outre que la pression sur l'unité de surface du plan inférieur des fondations soit à peu près constante pour toute l'étendue de ces fondations, afin que la compression soit uniforme et que toutes les parties s'enfoncent d'une même quantité, sans quoi il y aurait inégalité de tassement, et par suite rupture dans les maçonneries. Quant à la troisième cause, si légère qu'elle soit, on ne doit pas la négliger, et pour cela il faut non-seulement, ainsi qu'on le fait habituellement, éloigner le plus possible du mur de masque les ouvertures pratiquées dans les pieds-droits, mais je crois qu'il serait bon de donner à ces ouvertures une forme elliptique ou ovoïdale, dont la courbure inférieure serait enfoncée au-dessous du sol des casemates. L'avantage de

cette disposition est trop évident pour que je m'y arrête.

Je vais examiner maintenant si, dans l'établissement des fondations du revêtement de Péronne, on s'est exactement conformé à la loi d'une égale pression. Je considère pour cela deux demi-voûtes accolées, et je trouve que le mur de masque exerce sur ses fondations une pression équivalente à un poids de 141.000 kilog., ce qui donne une pression de 12.818 kilog. par mètre carré de la surface de la base des fondations; tandis que la pression exercée par la maçonnerie et les terres sur un pied-droit, équivaut à un poids de 255.000 kilog., ce qui donne une pression de 26.562 kilog. par mètre carré. Ainsi, les pressions exercées sont à peu près entre elles comme 8 est à 17, et il est bien évident d'après cela, que pour peu que le sol ait été compressible, un mouvement dans le système était inévitable. Il eût donc fallu, ou diminuer l'empatement du mur de masque, ou augmenter celui des pieds-droits, ou enfin faire l'un et l'autre; je ferai remarquer au surplus que le fort empatement donné au mur de masque ne serait réellement nécessaire qu'au devant des pieds-droits, et qu'il suffirait que la fondation fit là l'office de contrefort extérieur, puisque la plus grande partie de la poussée des terres agit sur ces points.

Les accidens arrivés aux casemates du bastion 58, de la citadelle de Calais, doivent être attribués à la même cause, et ils ont été plus considérables

qu'à Péronne, parce que la différence des pressions exercées sur les fondations du mur de masque et sur celles des pieds-droits était encore proportionnellement plus grande qu'à Péronne, et peut-être aussi parce que le sol était plus compressible.

J'ai dit précédemment que les revêtemens en décharge, par la manière dont ils étaient exécutés, perdaient une partie de leurs avantages militaires : et en effet, on a fait valoir en faveur de ce mode de construction la difficulté pour l'assiégeant d'établir une brèche praticable. Or, il est bien certain que l'épaisseur des pieds-droits n'étant calculée que pour qu'ils puissent supporter le poids des voûtes et des terres qui la recouvrent, mais non pas les poussées horizontales, qui dans l'état habituel des choses se font respectivement équilibre, dès que l'assiégeant, après avoir renversé le mur de masque d'une seule travée, sera parvenu à détruire un de ces pieds-droits en le prenant en flanc, tous les autres pieds-droits tomberont pour ainsi dire comme des capucins de carte, et avec eux les voûtes et tous les terrassemens ; de telle sorte qu'il ne faudra qu'un assez petit nombre de coups de canons pour renverser toute une face d'ouvrages, attendu qu'il n'existe de culées qu'aux angles du revêtement.

Le mode de construction que je vais proposer remédiera entièrement à ce grave inconvénient, puisqu'il permettra, sans augmentation de dépense, de donner aux pieds-droits une épaisseur telle que chacun d'eux puisse faire l'office de culée.

Je reprends, pour l'explication de mes idées, le revêtement de Péronne dont il a déjà été question. Je n'y ferai qu'une seule modification, qui consistera à relever la naissance des voûtes de 0^m, 20, ou si on l'aime mieux, à abaisser le sol des casemates d'une même quantité, afin que les petites voûtes des arceaux ou passages, puissent être faites sur une brique boutisse d'épaisseur, sans qu'il y ait de rencontre avec les grandes voûtes; par là, on évitera de faire les clefs et contreclefs en pierre de taille, ainsi qu'on a été obligé de le faire à Péronne.

Plane. VII. Les fig. 11, 12 et 13, présentent le plan et les profils en long et en travers du revêtement mixte en maçonnerie et pisé. Les pieds-droits, dont l'épaisseur a été calculée de manière qu'ils puissent faire culées, sont composés d'un noyau de pisé de 1^m, 70 d'épaisseur et de deux murs enveloppés de 0^m, 80, ce qui fait une épaisseur totale de 3^m, 30 au nud du mur.

Les voûtes des casemates ont les mêmes dimensions que celles de Péronne, et les deux murs-enveloppes de chaque pied-droit, sont réunis à leur partie supérieure par une petite voûte de 0^m, 30 d'épaisseur, s'appuyant sur le pisé qui lui servira de cintre. On pourrait également réunir les deux murs à leur partie inférieure et au-dessus de la fondation par une semblable voûte, mais renversée, afin de rendre les deux enveloppes plus solidaires. Le dessin fait suffisamment connaître les autres détails de construction. Au lieu de fermer les case-

mates du côté des terres par un mur d'appui soutenant le talus naturel des terres, je préfère un mur plein de 1 mètre d'épaisseur, porté sur un arceau de 0^m, 40 d'épaisseur. Ce mur sera en pisé et aura seulement une enveloppe en maçonnerie du côté des terres et de 0^m, 30 d'épaisseur : l'arceau s'appuiera sur le terrain du remblai qui sera à cet effet soigneusement damé. Les pieds-droits aux angles saillans et rentrans du revêtement seront entièrement en maçonnerie.

Il me reste maintenant à comparer la dépense dans les deux cas. Je ferai abstraction des pieds-droits placés aux angles du revêtement, des chapes de voûtes, et de la tablette de couronnement, attendu que dans les deux systèmes la dépense de tous ces objets sera la même pour une même longueur de revêtement ; je supposerai aussi que, quel que soit le mode de revêtement employé, les fondations de toutes les maçonneries et les voûtes des casemates seront en mortier hydraulique. Je continuerai à me servir des prix de la place de Lille que j'ai employés précédemment pour comparer la dépense des revêtemens pleins, et je considérerai pour chaque espèce de revêtemens une travée complète, c'est-à-dire une voûte de casemates et deux demi-pieds-droits.

La travée de l'ancien profil coûtera, savoir :

82,273 mèt. cub. de maçonnerie ordinaire,
à 17 fr. 50 c. . . . . 1.439 fr. 78

Report.	1.439 fr.	78
17,918 mètres cubes de maçonnerie hydraulique, à 21 fr. 60 c.	387	24
61,360 mètres cubes de maçonnerie de voûtes en mortier hydraulique, à 22 fr. 40.	1.374	46
Cintres, etc.	48	52
Total.	3.250 fr.	

La travée du nouveau profil coûtera, savoir :

80,828 mètres cubes de maçonnerie ordinaire, pour la nette maçonnerie de l'enveloppe des pieds-droits et le mur de masque, jusqu'à la hauteur de l'extrados, à 17 fr. 50 c. l'un.	1.414 fr.	49
48,946 mètres cubes de maçonnerie hydraulique, à 21 fr. 60 c.	1.057	23
65,280 mètres cubes de maçonnerie de voûtes en mortier hydraulique, à 22 fr. 40 c.	1.462	27
60,000 mètres cubes de pisé à 1 fr. . .	60	00
Cintres, etc.	56	01
Total.	4.050 fr.	00

La travée du premier système étant de $5^{m},50$, on a pour le prix du mètre courant de revêtement dans ce cas.	590 fr.	91
Tandis que la travée du second système étant de $7^{m},60$, on a pour le prix du mètre courant de revêtement dans ce second cas. .	532	89

Différence par mètre courant en faveur de l'emploi du pisé. . . . . 58 fr. 02

Cette économie est sans doute peu importante; et quoiqu'elle aille à plus de 50.000 fr. pour toutes les escarpes d'un front complet de Cormontaingne, elle ne justifierait pas l'innovation que je propose pour les revêtemens en décharge, si d'ailleurs cette innovation n'avait pas des avantages incontestables sous le point de vue militaire, soit à cause de la difficulté de faire brèche, et peut-être de l'impossibilité de faire une brèche praticable avec le canon, soit à cause de l'agrandissement que l'on procure aux casemates, en substituant le mur de fond en pisé et maçonnerie au mur d'appui soutenant le talus naturel des terres; à la vérité, on diminue un peu le nombre des casemates, mais elles seront plus commodes, soit comme magasins, soit comme logement, et on aura en définitif plus d'espace couvert dans le second cas que dans le premier.

Il ne peut rester aucun doute sur la possibilité de faire des murs de soutènement ou des escarpes solides en pisé, et de les rendre durables en les enveloppant dans de bons paremens en maçonnerie hydraulique. D'un autre côté, la résistance de pareilles murailles à l'action de l'artillerie, ne pourra être bien connue que lorsque des expériences auront été faites pour la déterminer; mais j'ai tout lieu de croire qu'il serait plus difficile de mettre en brèche

un revêtement plein en pisé qu'un revêtement plein en maçonnerie d'une épaisseur proportionnellement moindre. Cette opinion est fondée sur ce que rapporte l'ingénieur anglais, M. le major John Jones, de ce qui eut lieu au siége de Badajoz, en juin 1811. Le 3 juin, on commença à battre en brèche la muraille du château à neuf heures et demie du matin, avec une batterie de quatorze pièces de 24, et avant la nuit on avait fait tomber un masque en maçonnerie, derrière lequel était de la terre qui se soutenait verticalement. Le 4, on continua de faire un feu très-vif; mais le banc de terre conserva la position verticale qu'il avait le soir précédent; le 5, une nouvelle batterie de sept pièces de 24 tira sur le même point, et la terre ne perdit rien de son aplomb; le feu continua, et fut augmenté le 7 de celui d'une nouvelle batterie de trois pièces plus rapprochée de la brèche que la précédente; le 8, on ajouta encore trois pièces à cette dernière batterie, et la partie supérieure de la brèche du château, quoique la terre fût à découvert, paraissait toujours verticale; mais on voyait à son pied une grande quantité de décombres. Le 9 juin, au soir, la brèche du château paraissait fort avancée, les décombres qui se trouvaient à son pied étaient devenus assez considérables pour qu'on pût la croire praticable. Pendant la nuit du 11, les Français avaient enlevé les décombres amoncelés sur cette brèche, dont la partie supérieure, toute en terre, présentait un front vertical de dix pieds

de hauteur. Le lendemain, lord Wellington leva le siége.

Dans les observations ajoutées par M. Jones, à la suite du journal de siége; cet officier s'exprime ainsi: « Ce qui rendit la brèche du château si difficile à ouvrir fut la nature même de son enceinte. » La muraille que l'on voyait extérieurement n'était qu'un masque en maçonnerie de briques à » mortier de ciment pour garantir des injures du » temps l'escarpe du château, en terre taillée à » pic. Le masque fut renversé dès le premier jour » de feu; mais l'escarpe en terre continua à se soutenir verticalement, et jusqu'au dernier instant » chaque partie qui fut détachée par le tir en » brèche ne se sépara du solide en arrière que suivant un plan vertical. »

Ce fait me semble concluant, et je dois ajouter que c'est la lecture de ce passage de l'ouvrage de M. Jones, qui m'a donné l'idée de faire des revêtemens en pisé: car, qu'était-ce que le massif du rempart du château de Badajoz, sinon un pisé naturel?

Ne pourrait-on pas profiter de cette expérience pour corriger à peu de frais le grave inconvénient que présentent presque toutes les places, dans leur état actuel, de laisser à l'assiégeant la possibilité de faire brèche à l'enceinte du corps de place par les trouées des demi-lunes, des ouvrages à corne, etc. Il suffirait, ce me semble, de renforcer les revêtemens pleins, dans toute l'étendue

des brèches praticables, par un massif en pisé d'une épaisseur telle, que la brèche devînt, sinon impossible, du moins très-difficile à établir. Ainsi, en supposant un revêtement de 10^{m} de hauteur, je remplirais l'intervalle des contreforts en pisé, et j'élèverais en arrière de leur queue un massif de pisé de 3 mètres d'épaisseur, ce qui porterait l'épaisseur totale du revêtement à 8^{m},50 au sommet. La dépense pour une trouée de demi-lune d'environ 30^{m} de longueur serait comme il suit :

2.662 mètres cubes de déblai, à 0 fr. 66 c.	1.730 fr.	52
1.335 mètres cubes de pisé, à 1 fr. . . .	1.335	00
1.327 mètres cubes de remblai, à 0 fr. 40 c.	530	80
Frais imprévus.	403	68
Total.	5.000 fr.	00

Maintenant, pour que le gouvernement pût juger en connaissance de cause d'une proposition qui tendrait à apporter une si grande économie dans les dépenses des travaux défensifs du royaume, il faudrait ordonner quelques expériences non-seulement pour la construction de revêtemens d'escarpe en pisé, soit pleins, soit en décharge, mais aussi essayer les effets du canon sur ces revêtemens. Dans tous les cas, lors même que l'artillerie ferait plus promptement brèche à un revêtement en pisé ; s'il ne faut que 36 heures pour faire une brèche praticable dans une escarpe de maçonnerie, il est per-

mis de croire que le peu de temps que gagnerait l'assiégeant ne saurait entrer en compensation avec l'économie faite sur les revêtemens d'escarpe, ou plutôt avec l'augmentation de durée que pourrait procurer à la défense l'application des fonds économisés à la création de nouveaux moyens de résistance. Quant aux revêtemens en décharge avec pieds-droits en pisé faisant culées, je regarde comme à peu près impossible d'y faire avec du canon, des brèches praticables.

EXTRAIT D'UNE NOTICE

DE

M. BUREL, Lieutenant-Colonel du Génie,

SUR

LES NIVEAUX A RÉFLEXION

DE SON INVENTION.

Les niveaux à réflexion sont construits d'après ce principe, que l'œil voit son image réfléchie dans un miroir vertical à une aussi grande distance derrière ce miroir, qu'il en est éloigné lui-même pardevant; et que la ligne qui joint le centre de l'œil et le centre de l'image, est toujours horizontale et perpendiculaire au plan du miroir. Les avantages que le comité du génie et la société d'encouragement ont reconnus à ces instrumens sont dus : Principes et propriétés de ces instrumens.

1°. A la simplicité de leur exécution et de leur rectification;

2°. A la grande longueur de leur ligne de mire;

3°. A leur petit volume et à leur stabilité ;

4°. A la célérité de leur manœuvre.

Niveau réflecteur ordinaire.

Le niveau réflecteur ordinaire n'est qu'un petit miroir $A\,B$, d'environ 3 centimètres de côté, fixé contre une plaque verticale de métal, qui pèse de 300 à 600 grammes, pour former un pendule oscillant autour de deux axes horizontaux, à la manière de Cardan ; ou plus simplement encore, suspendu à un anneau $m\,n$ par une boucle en fil d'acier, allongée, mais tordue dans son axe vertical, de manière à former, par cette torsion, deux œillets verticaux b et c perpendiculaires l'un à l'autre, qui permettent ses balancemens dans tous les sens, mais l'empêchent de tourner autour de l'axe de suspension $b\,g$.

Pl. II. fig. 2.

Son emploi aux nivellemens rigoureux.

Quand on rectifie ce *niveau*, ou qu'on l'emploie à quelque nivellement rigoureux, on doit le suspendre dans un encadrement $x\,y\,z\,t$, qui est porté lui-même sur le trépied ordinaire des arpenteurs. Dans cet état, une plaque $e\,f$, poussée de bas en haut contre le culot g, par l'action d'un contrepoids h, lui sert de frein, en adoucissant et arrêtant bientôt les oscillations. Elle prévient aussi, par sa résistance, les efforts du vent, avec d'autant plus d'efficacité qu'on aura éloigné davantage le poids h de la verticale $j\,k$.

Son emploi aux nivellemens expéditifs.

Mais si le *niveau* étant déjà rectifié, on veut s'en servir d'une manière très-expéditive, quoiqu'un peu moins rigoureuse, on le détachera de son encadrement, comme on le voit au profil de la figure 2, pour s'en servir à bras tendu, et à la hauteur de

l'œil, au moyen de l'anneau *m n*, comme on l'expliquera plus bas avec plus de détail.

Ce *niveau* possède en lui-même ses divers moyens de rectification; mais on ne mentionnera ici que la plus indispensable, qui consiste à rendre son miroir parfaitement vertical, afin que sa ligne de mire soit bien horizontale. Voici donc le procédé que je crois le plus court et le plus précis, parce qu'il exclut le tâtonnement :

Sa rectification.

Après avoir suspendu le *niveau réflecteur* dans son encadrement *x y z t*, que vous aurez implanté d'avance sur le trépied ordinaire :

1°. Dirigez contre un mur, éloigné de 40 à 50 mètres, le rayon visuel allant de votre œil à son image, qu'un fil de foi *p p* coupe au milieu du miroir *A B;* amenez, par un léger mouvement de tête, cette image sur le bord du miroir, afin de voir en même temps, par l'ouverture *p q* qui traverse la plaque de monture, le mur lointain, sur lequel vous ferez tracer une horizontale qui passe par le point où fiche le rayon visuel prolongé.

2°. Faites faire au *niveau réflecteur* un demi-tour sur son axe de suspension, et venez regarder de nouveau votre œil dans son miroir, en tournant ainsi le dos au mur que vous aviez d'abord en face de vous. Ce nouveau rayon visuel, allant de votre œil à son image près du trou *p q*, fichera encore contre le mur que le miroir vous réfléchit aussi; faites tracer une deuxième horizontale par ce point nouveau de fiche.

3°. Enfin, tracez une troisième horizontale sur le mur, mais à une égale distance des deux premières : cela étant fait, déplacez le centre de gravité du *niveau réflecteur*, en tournant convenablement la vis à grosse tête *r*, jusqu'à ce que vous voyez le fil de foi *pp* se confondre sur cette horizontale intermédiaire, et le niveau sera rectifié.

Cette rectification sera d'autant plus sûre ; que le point de vision est marqué sur le globe de l'œil et sur son image par un petit cercle brillant, dont on peut encore mieux voir le centre en visant, si on le veut, par un petit trou oblong percé dans une carte ; et s'éloignant même du miroir de 3 à 4 mètres, ce qui donne à la ligne de mire une longueur de 6 à 8 mètres. A cette distance on ne voit plus le fil de foi *pp* que comme une ligne sans épaisseur.

Longueur et lucidité de sa ligne de mire.

Pendant l'opération précédente, le frein *ef* a contenu les oscillations, ou les a réprimées dès leur naissance, sans que sa légère pression de 2 à 8 grammes, selon qu'on a voulu la régler, ait pu nuire à la verticalité spontanée du pendule, d'abord parce qu'elle est peu de chose par rapport au poids de ce pendule ; parce qu'ensuite elle agit à la plus grande distance possible de son point de suspension, et surtout parce que sa direction passe assez exactement par le centre d'oscillation de ce petit corps.

Son frein.

On remarquera aussi que pendant cette épreuve le moindre défaut de verticalité s'aperçoit de suite, et avec une précision deux fois plus grande que n'en donnerait le fil aplomb, par exemple. En

Sa justesse est double de ce qu'on en attendait.

effet, tout angle produit par la réflexion a une apparence double de sa réalité, c'est-à-dire que s'il restait au pendule en expérience une tendance à produire encore des oscillations d'une minute, au moment de l'observation, il les montrerait comme ayant 2 minutes d'amplitude; l'erreur qui aurait pu s'ensuivre sera donc deux fois mieux aperçue, et corrigée sans délai par deux ou trois titillations du frein *ef*, qu'on obtient en l'abaissant deux ou trois fois avec le doigt, afin de donner au *niveau réflecteur* autant de courts instans de liberté. Ce frein, comme on le voit, ajoute donc une propriété assez heureuse au *niveau réflecteur*.

Sa supériorité sur le niveau d'eau.

Le *niveau d'eau* est versatile, embarrassant dans les lieux étroits ou raboteux; ses formes allongées le rendent sensible au moindre vent, aux moindres secousses; sa chute peut même le détruire, et rendre nulles plusieurs opérations antérieures; il veut beaucoup d'espace pour sa manœuvre, un aide pour le transporter, un vase pour l'alimenter d'eau, et des attentions continuelles pour y maintenir une hauteur d'eau constante; sa ligne de mire, qui n'a guère qu'un mètre de longueur, se termine à deux couronnes opaques et épaisses, qui paraissent nager vaguement dans deux tubes de verre, ce qui laisse mal juger si cette ligne de mire passe bien par leur milieu. Mais le *niveau réflecteur*, au contraire, n'étant par sa petitesse qu'un point matériel, pour ainsi dire, ne donne prise ni aux vents ni aux chocs accidentels; sa chute même ne saurait l'endommager : on le fixe, sans aide,

à un arbre, dans une étroite fenêtre, partout, en un mot, sans retard ni embarras; le moindre espace suffit à sa manœuvre, car sa ligne de mire se détermine par deux points immatériels dans l'espace, et sa hauteur de foi est invariable; de plus, ses courtes oscillations sont adoucies, annulées ou interrogées à volonté par les attouchemens réitérés de son frein; sa ligne de mire peut avoir de 6 à 8 mètres de longueur. Enfin, on peut le fabriquer partout en matériaux communs, tels que le bois dur ou le plomb; mais, s'il était monté sur le cuivre, l'argent, ou le platine, par un artiste de bon goût, il pourrait décorer le petit nécessaire de l'ingénieur et du naturaliste. La figure le fait voir en élévation et en profil sous les dimensions réelles de l'exécution que je lui crois les plus convenables.

Effet remarquable des oscillations complexes.

S'il est vrai que le *niveau réflecteur* a tant d'avantages sur le *niveau d'eau*, quand l'un et l'autre sont portés sur le trépied ordinaire, sa supériorité est bien plus grande encore dans les nivellemens pressés comme ils conviennent à l'armée et en voyage, car il suffit alors de le manœuvrer à bras tendu; on verra même avec satisfaction que dans ces observations rapides il n'a guère moins de justesse que le *niveau d'eau* manié avec soin et lenteur. Tâchons d'en faire sentir la raison, ne pouvant ici la démontrer. On sait qu'un pendule oscille long-temps quand il est suspendu à un point immobile; mais s'il est attaché à un corps qui oscille lui-même dans un plan différent, ou suivant une autre loi, les balancemens

du pendule, contrariés par ceux de son support, sont bientôt atténués et anéantis : chacun peut s'assurer de ce fait, en tenant un poids quelconque pendu au doigt, et en cédant mollement à ses balancemens.

Pour niveler d'après cette considération, on tiendra donc l'instrument à longueur de bras et à hauteur de l'œil. Saisissant alors un de ses courts instans de repos, qui sont à peu près périodiques, on aura une observation furtive, à la vérité, mais bien plus précise qu'on ne l'aurait cru d'abord; car, en la vérifiant de suite, et presque dans la même seconde, par un deuxième et troisième coup d'œil, on verra que les derniers résultats diffèrent bien peu du premier. Quelques momens d'exercice prouveront cette assertion.

Nivellemens rapides.

On s'étonnera peu de cette justesse, si on la compare à celle d'un chasseur exercé qui dirige son fusil sans appui, vise et frappe à un but fugitif presqu'à coup sûr. Celui qui nivelle a même sur le chasseur l'avantage exclusif de pouvoir réitérer de suite plusieurs vérifications, et d'en prendre la réduite; il peut même augmenter cette précision, en tenant le *niveau réflecteur* à l'extrémité d'un manche, mais à une hauteur constante, au moyen d'un bâton léger, afin de la déduire à propos de la hauteur de la mire qu'on porte autour de lui. Il opèrera donc ainsi dans toutes les directions, sans trépied, sans choix de stations, ne s'arrêtant que pour écrire en note, ou sur un plan, les cotes nombreuses qu'il aura re-

cueillies en bien peu de temps. Ce mode expéditif convient surtout quand on nivelle une surface médiocre, ou qu'on veut intercaler des cotes de détail entre deux repères bien authentiques. C'est par lui que, prenant les hauteurs de plusieurs collines de 70 à 80 mètres d'élévation bien vérifiée préalablement, on a trouvé les plus grandes erreurs réduites à $0^m,15$: voilà pour la justesse. Ajoutons, quant à la célérité des observations, qu'une campagne assez accidentée, et de 25 hectares de contenance, a été nivelée en un seul jour, par courbes horizontales de mètre en mètre, avec le secours d'un seul aide qui portait la mire.

NOTE

SUR

LA MACHINE A DÉFILER

DE

M. DE BELLONNET, CHEF DE BATAILLON DU GÉNIE.

Par M. Alphonse BODSON DE NOIRFONTAINE,
Capitaine du Génie.

Dans le dessin de la fortification, les plans de *défilement* sont déterminés par des horizontales équidistantes, tracées au moyen des échelles de pente.

Ces plans sont ordinairement soumis à plus de conditions que leur construction géométrique n'en exige, et leur choix nécessite des tâtonnemens qui sont indispensables pour reconnaître comment ils satisfont aux données prescrites par les bases du projet.

Ces recherches graphiques demandent beaucoup de temps, et surchargent le papier d'une foule de traits inutiles qu'il faut effacer ensuite.

M. le chef de bataillon de Bellonnet a eu l'idée de substituer des fils aux lignes qui représentent les horizontales.

L'instrument dont il se sert, abrège infiniment les opérations et donne le moyen d'arriver à des résultats mieux étudiés et plus complets.

Pl. VIII. fig. 1. Cet instrument consiste dans un cadre en bois, muni de fils de soie équidistans parallèles entre eux et à deux des côtés du châssis.

Celui-ci est formé de quatre règles réunies par de petits boulons, et peut prendre la figure d'un parallélogramme quelconque.

Pour que le parallélisme des fils ait lieu, il faut que les règles soient divisées exactement, et la position des boulons déterminée avec précision (1).

En ouvrant plus ou moins le châssis, l'écartement

---

(1) L'artiste aura la précaution de noyer la tête des boulons dans le bois, afin qu'ils ne frottent pas sur le papier, et de pratiquer un épaulement qui protège les fils sous les règles; à la surface supérieure de celles-ci, une rainure correspondante aux trous des fils, sert à loger leurs extrémités et à empêcher qu'elles ne soient coupées dans le jeu de l'instrument.

Le nombre des fils doit être au moins égal à celui des courbes horizontales du plan sur lequel on opère, et pour faciliter la lecture de leurs cotes, les fils de dix en dix mètres et ceux de cinq en cinq mètres peuvent être distingués des autres par leur couleur.

Le compteur et les autres accessoires qui ont été ajoutés à la machine faite pour l'école de Metz sont peu utiles et en rendent l'usage plus compliqué.

des fils varie, sans que cependant ils cessent d'être parallèles à leur première direction ; ce changement indique que la pente du plan dont ces fils représentent les horizontales, augmente ou diminue ; mais que le plan tourne toujours autour de la même charnière horizontale, laquelle est précisément indiquée par le fil qui reste invariable sur le plan ; car si tous les fils changeaient de position, en restant parallèles, cela indiquerait un double mouvement du plan autour de la charnière et de celle-ci parallèlement à elle-même.

Si, au contraire, le châssis ne changeant point de figure, on fait varier la direction des fils, alors le plan conservant la même inclinaison se meut en engendrant une surface conique, si l'une des horizontales tourne autour d'un de ses points, et une surface développable particulière dans le cas contraire.

Lorsqu'enfin la figure du châssis et la direction des fils varient à la fois, cela indique que le plan se meut d'une manière tout-à-fait arbitraire, et qu'il change en même temps d'inclinaison et de charnière.

Le système des fils peut donc représenter un plan situé d'une manière quelconque dans l'espace.

Prenons un exemple, pour faire concevoir clairement l'usage de cet instrument, et supposons qu'il s'agisse dans un défilement par partie, de construire le plan de site de la face d'un ouvrage.

Le saillant du bastion étant à la cote $16^m,50$, et l'angle d'épaule à $17^m,50$, les deux points A et B Pl. VIII. fig.

par lesquels doit passer le plan tangent au terrain, seront aux cotes 19^m, 00 et 20^m, 00 plus basses de 2^m, 50 que les précédentes.

On place le cadre sur le plan et on le dispose de manière que les fils cotés 19^m, 00 et 20^m, 00 passent par les points *A* et *B*. On examine si, dans cette première position, les fils qui sont les horizontales du plan, coupent ou laissent au-dessus d'eux les courbes horizontales à même cote.

Selon le cas, on augmente ou on diminue l'écartement des fils en tournant en même temps le châssis convenablement, afin que les fils 19 et 20 passent encore par les points *A* et *B*.

La position *m*, *n*, *p*, *q*, représente un plan de site trop doux qui coupe le terrain ; *m'*, *n'*, *p'*, *q'*, au contraire représente un plan trop raide qui laisse le terrain au-dessous de lui.

Pour ne pas embrouiller la figure, les horizontales ne sont qu'amorcées.

Enfin, la position *M N P Q* indique le plan qui convient au cas proposé, et rase les hauteurs à la cote 6^m, 00 en laissant au-dessous les points plus élevés et plus éloignés à la cote 0^m, 00.

Alors sans déranger l'instrument, on trace une perpendiculaire à la direction des horizontales, on marque dessus l'intervalle qui sépare celles-ci et on a immédiatement l'échelle de pente cotée du plan de site.

Tous les problèmes de défilement se résoudraient aussi simplement que celui-ci.

L'avantage que présente cet instrument de don-

ner toutes les horizontales des plans de défilement qu'on essaie, est important en ce qu'il permet de voir en un instant quelles sont les conséquences de chacun d'eux, de reconnaître si le plan passe au-dessus ou au-dessous de tel ouvrage et à quelle hauteur; de voir si un plan qui défile des hauteurs d'un côté ne coupe pas le terrain de l'autre, etc.

Cet instrument est encore très-commode pour vérifier un défilement par traverses, et aussi pour s'assurer si des glacis sont ou ne sont pas vus par les ouvrages en arrière. Il suffit pour cela de faire coïncider les fils avec les horizontales des plans de glacis, et de lire la différence qui existe entre les cotes des crêtes des parapets, et celles des fils qui les coupent ou se confondent avec elles.

Nous terminerons cette note, en ajoutant que depuis deux ans on fait un usage continuel de cette machine dans la place de Belfort, et qu'elle n'a pas peu contribué à faciliter et à perfectionner le travail des officiers (1).

---

(1) Il est bon de remarquer que si l'on voulait obtenir des horizontales successives plus écartées que ne peuvent l'être deux fils qui se suivent, il suffirait de changer la graduation de l'instrument en prenant les unités primitives pour des demi-unités, ou des quarts, etc.

On voit aussi que lorsque le nombre des fils est moindre que celui des courbes à considérer, on peut faire glisser l'instrument le long d'une des règles latérales, comme une équerre, afin d'obtenir une nouvelle série d'horizontales. Peut-être conviendrait-il dans ce cas de pouvoir rendre les articulations fixes, afin d'empêcher les changemens de figure du cadre. P. B.

MÉMOIRE

SUR

LES PONTS DE CORDAGES

CONSTRUITS A METZ EN 1827.

Par M. Alphonse BODSON de NOIRFONTAINE,
Capitaine du Génie (1).

Le passage d'un grand fleuve présente souvent moins de difficultés qu'on ne serait tenté de le croire. Il a été prévu long-temps à l'avance, et les moyens sont proportionnés aux obstacles; tandis qu'une petite rivière, un torrent et même une arche de pont rompue, arrêteraient journellement la marche de

(1) N'étant pas employé maintenant dans les troupes et ne pouvant continuer les essais sur les ponts de cordages que j'avais entrepris en 1827, avec mon cousin B. de Noirfontaine (Alfred), lieutenant comme moi au troisième régiment du génie, j'ai désiré les publier afin qu'ils parvissent à la connaissance de mes camarades et pussent être repris dans les écoles régimentaires, si on les jugeait de quelque intérêt. Le comité a bien voulu que mon travail fût inséré au Mémorial.

l'armée, si les troupes du génie qui l'accompagnent ne savaient utiliser les matériaux qu'elles trouvent sur les lieux pour faire un pont, ou rétablir celui qui aurait été détruit par l'ennemi.

Dans les pays de plaines, les rives sont généralement basses, on peut jeter selon les circonstances, des ponts de chevalets, de pilotis, de radeaux, de bateaux, etc., et réparer ceux qui ont été coupés, en construisant un tablier provisoire porté par plusieurs rangs de chevalets ordinaires; ou mieux encore, par de grands chevalets placés sur des bateaux, ou sur les débris de l'arche détruite.

L'escarpement des rives et la hauteur obligée des ponts s'opposent fréquemment à ce qu'on emploie ces différens modes de construction dans les pays de montagnes, où les chemins pratiqués au fond des vallées sont tracés de manière à profiter de tous les accidens favorables, et s'élèvent par fois beaucoup au-dessus du lit des torrens qui divisent celles-ci.

Il faut alors se servir de fermes en charpente, qui à la vérité, quand elles sont faites avec soin, ont tous les avantages d'un pont permanent; mais dont l'installation exige trop de temps, si leur portée dépasse 15 à 18 mètres.

Quelquefois on a eu recours aux ponts de cordages et toujours avec succès.

L'histoire militaire des trois derniers siècles offre plusieurs exemples de leur emploi; nous les citons d'après l'*Aide-mémoire* du général Gassendi et l'*Essai sur les ponts militaires*.

Louis de la Trémouille rapporte dans ses Mémoires, que les Suisses en jetèrent un sur le Pô près de Casal, en 1515, et que leur artillerie passa dessus.

Davila, *Histoire des guerres civiles de France*, parle d'un pont de câbles jeté sur le Clain au siége de Poitiers, en 1569 par l'amiral Coligny.

Henri, prince d'Orange, se servit de ponts de cordages dans ses entreprises contre Gand et Bruges, en 1631.

Les Français en firent usage en Italie dans la guerre de 1742, et le gouvernement fit construire un équipage de pont de cette espèce en 1792 (1).

---

(1) On trouve dans le journal philosophique d'Édimbourg la description d'un pont suspendu avec des cordes de cuir, qui existe sur la rivière de Maypo, non loin de Saint-Yago capitale du Chili. Ce pont consiste en un plancher de 4 pieds de large, composé de planches transversales dont les bouts posent sur des câbles tressés avec de fortes courroies de cuir de buffle, tendus d'un bord à l'autre et suspendus par le moyen de courroies verticales de l'épaisseur du doigt, à de gros câbles de même nature qui vont également de l'un à l'autre bord. Ces câbles de suspension sont au nombre de six; il y en a trois de chaque côté, qui forment l'un au-dessous de l'autre, trois courbes, dont l'inférieure à pour tangente le plancher du pont du côté où la rivière est bordée de rochers. (Voyez la fig. 5.) Les câbles sont cramponnés au roc, dans lequel est creusé le chemin qui sert de débouché au pont, à une hauteur de 20 ou 30 pieds (6m, 10 à 9m, 15) au-dessus du niveau du fleuve; mais du côté opposé, où la rive est très-basse, les câbles retenus à terre sont dressés diagonalement sur une charpente qui leur sert de point de suspension. Il résulte de la Pl. XI.

Enfin, plus récemment, les armées française et anglaise en ont employé dans la guerre d'Espagne.

Les ponts de cordages, très-imparfaits d'abord, et surchargés d'une foule d'agrès inutiles, se sont perfectionnés peu à peu ; leur construction s'est simplifiée, et les expériences faites depuis quelques années permettent de croire qu'on pourrait s'en servir avec d'autant plus d'avantage, que les agrès qui

---

hauteur inégale des deux rives, que le tablier de ce pont forme un plan incliné, ce qui n'est pas un grand inconvénient, puisqu'il ne sert qu'aux piétons et aux bêtes de somme.

D'un point de supension à l'autre, la longueur du pont est de 123 pieds, (environ 37^{m}, 50) ; les matériaux en sont très-élastiques, et il se balance dans tous les sens d'une manière assez alarmante pour ceux qui n'ont pas l'habitude d'y passer.

En jetant un coup d'œil sur le croquis de ce pont, on sera frappé de sa ressemblance dans les moindres détails, avec les ponts en fer si répandus aujourd'hui dans la Grande-Bretagne. Leur rapport le plus remarquable consiste dans la distribution des forces de la pesanteur sur les câbles de suspension. On remarquera que la première corde verticale est attachée au câble supérieur, la seconde à celui du milieu, la troisième au câble le plus bas ; les suivantes sont attachées dans le même ordre, de la même manière qu'on le voit aux ponts suspendus qu'on a établis sur la Twed et ailleurs.

Ces sortes de ponts, tels qu'ils existent maintenant, avaient été construits par les Espagnols à l'époque de la conquête. Ils nous a semblé qu'ils avaient beaucoup d'analogie avec les ponts de cordes ; et que, sous ce rapport, il ne serait pas sans intérêt d'en dire un mot à l'occasion d'un mémoire spécialement destiné à faire connaître les divers essais qu'on a tentés pour perfectionner ce moyen de passer les rivières. .P. B

font partie de nos équipages de campagne suffiraient seuls pour en fournir tous les élémens. Mais peu d'officiers ont vu des ponts de cordages, un plus petit nombre encore se sont occupés de leur construction; aussi ces ponts sont-ils regardés plutôt comme un objet de curiosité que comme une invention utile, susceptible de rendre de grands services à la guerre.

Dans ce mémoire, destiné à l'examen des différens ponts de cordages construits jusqu'ici, et en particulier de ceux faits à l'école régimentaire de Metz en 1827, nous essaierons de combattre les préjugés défavorables qui excluent ces ponts sans les connaître, et s'opposent ainsi à leur perfectionnement.

Il est indispensable pour établir des ponts de cordages d'une solidité à toute épreuve, d'avoir une connaissance parfaite de la force des cordes employées. Quelques détails à ce sujet ne paraîtront donc pas inutiles.

De la fabrication des cordes.

Les chanvres les plus estimés dans le commerce viennent de la Russie, de la Suisse, de l'Alsace et de quelques parties de l'Italie. On en cultive aussi dans l'Auvergne, la Bretagne et la Bourgogne.

Celui qui croît dans les vallées qui avoisinent les hautes montagnes est préféré.

La longueur du chanvre varie beaucoup, selon le terrain. Pour faire des cordes, il convient qu'il ait de $1^{m},00$ à $1^{m},30$; plus long, les fils se replient et se tordent mal; plus court, la force des cordes diminue.

Lorsque le chanvre est mûr, on l'arrache, puis on le fait rouir, soit en le mettant dans l'eau, soit en l'exposant à l'air et l'arrosant fréquemment. Le but de cette préparation est de détruire la substance gommeuse qui réunit les fibres.

Le rouissage est une cause d'insalubrité et a l'inconvénient d'altérer le chanvre, en lui faisant subir un commencement de pouriture, qui prive les fibres d'une partie de l'élasticité que leur donnait la gomme. On a essayé diverses manières d'y suppléer. M. Ternaux aîné, à Saint-Ouen, a une machine appelée *linourgos*, mise en mouvement par un homme et deux enfans, qui convertit par jour 600 kil. de chanvre en filasse d'une qualité supérieure.

Néanmoins on continuera encore long-temps à suivre la vieille routine; et d'ailleurs le chanvre destiné à la fabrication des cordes qui séjournent dans l'eau doit avoir été roui à l'humidité : sans cela la matière gommeuse fermenterait, et les cordes seraient bientôt pouries.

Le chanvre étant roui, on le teille pour le réduire en filasse; on peut aussi le broyer, mais les fils sont alors plus courts et moins beaux; ensuite on le bat pour en séparer les chènevottes, puis on le peigne.

Le chanvre qui reste dans la main de l'ouvrier après le peignage, porte le nom de premier brin. La filasse qui s'accroche aux dents du peigne, et

qu'on peigne de nouveau, est appelée deuxième brin.

Une partie du premier brin est réservée pour les cordes de première qualité, l'autre partie se mêle avec le second brin pour faire les cordes qui exigent moins de force.

Les cordes se divisent en aussières et en grelins, selon qu'elles ont été commises une ou deux fois.

Les cordages de 0^m, 04 à 0^m, 05 de diamètre et au-dessus, doivent être commis deux fois.

Ceux de 0^m,03 sont ordinairement à trois torons, ceux de 0^m,05 et au-dessus en ont quatre, et afin qu'il n'y ait pas de vide entre les torons, et que les cordes soient d'un diamètre plus égal, on met alors dans le centre une mèche égale au sixième d'un toron. Cette mèche faite avec du deuxième brin, doit être tordue en sens inverse de celui dans lequel on commet le cordage; de cette manière, elle se *détortille* pendant le commettage, et reste souple; tandis que si elle était tortillée dans le même sens, elle se raidirait encore et romprait au moindre poids, ce qui désorganiserait la corde.

Les cordes à âmes sont plus flexibles et peuvent être moins tordues que les autres, ce qui leur donne plus de force; mais les âmes s'échauffent et hâtent la pouriture des cordes, lorsque celles-ci sont exposées à l'humidité.

On préfère ne pas en mettre aux cordages qui servent dans l'eau.

Le diamètre du faisceau de fil destiné à faire une

aussière doit être d'un sixième plus grand que celui de cette corde.

Les fils de chanvre de premier brin ont $0^m,007$ de diamètre, et ceux faits avec le premier et le second, mêlés, ont $0^m,012$ au plus.

Ces fils ayant acquis par la fabrication un certain degré d'élasticité qui tend à les détordre lorsqu'ils sont réunis pour former une aussière, et qu'on commet celle-ci, ils tendront à tourner en sens inverse du tortillement; les fils conserveront d'une part toute l'élasticité acquise, et de l'autre, ils en acquerront une en sens opposé de la première, et ces deux forces dans une corde bien faite se neutralisent.

Plus le chanvre est élastique, moins il est nécessaire de tordre les fils pour que la corde se commette, et plus ceux-ci sont forts; car la direction des fibres de chanvre étant oblique relativement à l'axe des fils qu'ils composent, la résistance de leurs forces, si elles étaient parallèles à ce même axe, est d'autant plus faible, que les fibres seront plus obliques.

La force des grelins surpasse celle des aussières: cela tient à ce que leurs torons sont plus petits et d'une fabrication plus soignée. D'ailleurs, le degré de torsion du chanvre est le même que dans les aussières, parce qu'on a la précaution de commettre les grelins en sens inverse de leurs torons, qui se comportent dans ce second commettage, comme les fils dans le premier, et chacun d'eux, dans l'opération,

est tordu en particulier, afin de lui rendre l'élasticité qu'il perd.

L'extrémité de la corde qui est près de l'atelier est plus tordue, et par suite moins forte que l'autre, bien que pendant le travail il y ait des ouvriers uniquement chargés de faire communiquer le tortillement dans toute la longueur de la corde.

Il faut que les cordes ne soient commises qu'autant que cela est nécessaire pour qu'elles ne se décomposent pas.

Quelques cordiers sont en usage de tordre les cordes lorqu'elles sont faites, pour réduire leur longueur et leur donner plus de corps; mais, par la même raison que nous avons donnée pour la torsion des fils, il est évident que cela ne peut que diminuer la force des cordes.

Le tableau suivant, extrait de l'Encyclopédie méthodique, fait voir comment la force varie avec le commettage.

Deux cordes semblables ont été mises en expérience, et ont supporté :

	1re. corde.	2e. corde.
	Livres.	Livres.
Commise au $\frac{1}{3}$	4.090	4.056
Commise au $\frac{1}{4}$	4.840	6.752
Commise au $\frac{1}{5}$	6.195	7.397

L'usage général est de commettre au quart. Il est essentiel que les fils soient plus ou moins tordus, selon l'espèce de cordes auxquelles ils doivent appartenir, afin de savoir au juste de combien on commet.

Les cordes se conservent assez long-temps dans les magasins, lorsqu'elles sont aérées et qu'on a le soin de les étendre au soleil une ou deux fois par an, pour enlever l'humidité qui les ferait fermenter.

Les cordages blancs, soit à l'air, soit au magasin, durent plus que ceux qui ont été goudronnés, et leur force est plus grande; mais dans l'eau, il faut qu'ils aient été goudronnés: l'enduit résineux empêche l'eau de les pénétrer et de les pourir.

L'Encyclopédie méthodique rapporte des expériences faites dans le but de reconnaître l'influence du goudron sur la force des cordes.

Deux cordes semblables, l'une blanche, l'autre goudronnée en fil, ont été essayées, et ont supporté :

Corde blanche.	Corde goudronnée en fil.	Temps.
Livres.	Livres.	
2.645	2.312	Après deux mois.
2.762	2.155	Après un an.
2.710	2.050	Après dix-huit mois.
2.575	1.750	Après deux ans.
2.425	1.837	Après deux ans et demi.
2.917	1.865	Après trois ans.

Les cordes goudronnées en fil sont plus fortes que celles qui sont faites avec de la filasse goudronnée. On peut, au reste, se borner à les enduire quand elles sont terminées, d'autant plus qu'il faut toujours acheter des cordes blanches, que l'on reconnaît mieux ; et, d'ailleurs, les cordes prenant beaucoup de goudron, comme elles se vendent ordinairement au poids, on les paierait trop cher.

Les pêcheurs de différens pays tannent leurs filets ; cette préparation diminue moins la force des cordes que le goudron, et suffit pour les préserver de la pouriture.

La couleur du chanvre n'est pas un indice certain de sa bonté, et par suite de la qualité des cordes ; elle peut être artificielle et venir de l'eau dans laquelle il a été roui ; cependant, en général, on y a recours pour connaître le bon chanvre.

« Le meilleur chanvre est de couleur argentine, » gris de perle ; ensuite le verdâtre, puis le jaune. » Lorsqu'il est trop foncé, il a été trop roui, il a » un commencement de pouriture ; s'il est tacheté » de brun, il a été mouillé, et les endroits bruns » sont ordinairement pouris. Il est bon qu'il ait » une odeur forte ; mais on doit rejeter celui qui » sent le pouri, le moisi, ou simplement l'échauffé. » (*Guide du Pontonnier.*)

Les cordes bien faites sont dures et souples en même temps. Lorsqu'elles paraissent cotonneuses, sans que cependant on s'en soit servi, cela vient

de ce que les brins de chanvre sont trop courts : elles n'ont pas la force qu'elles devraient avoir.

Le travail des cordiers influe autant que la nature du chanvre sur la qualité des cordes ; il faut attribuer à ces deux causes les différences considérables qui existent dans l'évaluation des forces que les auteurs attribuent à celles-ci.

Le général Gassendi (*Aide-mémoire*, page 1222), dit qu'on peut faire supporter plus de 11.000 kil. à une cinquenelle de bonne qualité, qui a environ 0^m 052 de diamètre, sans craindre qu'elle ne se rompe ; tandis que Rondelet, dans son *Traité de l'Art de bâtir*, n'admet pas qu'une telle corde puisse supporter au-delà de 3.200 kil.

Il est bon d'observer que Rondelet a fait ses expériences sur des cordages employés dans des constructions, lesquels, étant rarement faits avec du chanvre de première qualité, sont loin d'avoir la force que leur diamètre annonce.

L'Encyclopédie méthodique ne cite pas d'essais faits sur des cordes aussi grosses ; mais elle dit, d'après Duhamel, qu'une corde de 11 lignes de diamètre ; environ 0^m, 026, a soutenu un poids de 2.300 kil. ; ce qui est proportionné à l'évaluation du général Gassendi.

Ces anomalies empêchant d'estimer la force des cordes avec quelque certitude, nous fûmes obligés d'éprouver les différens cordages qui entraient dans la construction des ponts que nous fîmes en 1827, à l'école régimentaire de Metz : cela donna lieu à

M. le capitaine Alfred de Noirfontaine de faire des expériences plus étendues, dont nous allons donner les principaux résultats.

L'appareil dont il se servait était composé d'un levier en bois de 0^m, 35 d'équarrissage moyen, et de 17^m, 00 de longueur.

Il était placé sur une barre de fer triangulaire, reposant elle-même sur un bâti en charpente, dont la base était formée par deux pièces de bois semblables et parallèles au levier.

Les cordes en essai étaient fixées à un billot engagé sous ces pièces de bois, et à une autre traverse aussi arrondie et reliée au levier par des étriers en fer.

Le petit bras du levier n'avait qu'un mètre de longueur; le grand, qui portait un plateau pour recevoir les poids, en avait seize.

On remarqua : 1°. que les cordes rompaient de préférence aux points où elles étaient nouées ou simplement enroulées sur les traverses, parce que le chanvre étant replié sur lui-même se coupait;

2°. Que des cordes qui ne cédaient pas sous une certaine charge, lorsqu'on ne la leur faisait supporter que pendant quelques minutes, rompaient quand l'action de celle-ci se prolongeait pendant plusieurs heures;

3°. Que la nature du chanvre influait souvent de près d'un quart sur la force des cordes de même diamètre;

4°. Qu'il y avait peu de différence entre le degré

de résistance dont les grelins et les aussières sont susceptibles ;

5°. Qu'on peut évaluer en gros la force des cordes à 5 ou 6[kil], par millimètre carré de leur section ; mais que pour être toujours à l'abri des accidens qui pourraient provenir de la mauvaise qualité du chanvre, des défauts de fabrication ou de la vieillesse des cordes, il fallait que la charge de celles-ci ne dépassât jamais la moitié du poids qui occasione la rupture ;

6°. Enfin, que la rupture est toujours précédée par un allongement considérable qui annonce que la corde cèdera bientôt.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES.

Désignation des cordes.	Tensions.	Effets produits.	Résistance par millimètre carré de la section
	Kilo.		Kilo.
Grelin neuf en chanvre de Strasbourg, de 0[m], 013 de diamètre.	1.050 1.250	Allongement d'un sixième. Rupture au milieu.	9, 50
Même corde réunie par une épissure triple.	1.048 1.128	Un toron s'est rompu. Rupture complète ; l'épissure n'a pas cédé.	8, 60
Aussière neuve en chanvre de Lorraine, de 0[m], 014 de diamètre.	1.090	Rupture, allongement de 13 pour $\frac{0}{0}$. Diamètre réduit à 0[m], 013.	7, 10

Suite du tableau des expériences.

Désignation des cordes.	Tensions	Effets produits.	Résistance par millimètre carré de la section.
Grelin neuf en chanvre de Lorraine, de 0^m, 016 de diamètre.	Kilo. 850 1.090 1.210	Allongement de 15 pour $\frac{0}{0}$. *Idem.* de 17 pour $\frac{0}{0}$. Rupture nette, diamètre réduit à. . . . . 0^m, 0152	Kilo. 6, 04
Grelin neuf en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 017 de diamètre.	848 1.648 1.808	Allongement de. 12 p. $\frac{0}{0}$. *Idem.* de. . 17 p. $\frac{0}{0}$. Rupture près du billot inférieur.	 8, 50
Aussière neuve en chanvre de Lorraine, de 0^m, 023 de diamètre.	850 2.450	Allongement de. . 15 p. $\frac{0}{0}$. Rupture au nœud près du billot supérieur, diamètre réduit à. . . . . 0^m, 020	 5, 90
Grelin neuf en chanvre de Lorraine, de 0^m, 023 de diamètre.	1.650 3.010	Allongement de. . 11 p. $\frac{0}{0}$. Rupture près du billot inférieur, diamètre réduit à. . . . . 0^m,021.	 7, 30
Vieille corde de 0^m, 023 de diamètre.	1.680	Rupture près du nœud.	4, 09
Grelin neuf en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 025 de diamètre.	2.500 3.000	Allongement de. . 14 p. $\frac{0}{0}$. *Idem* de. . 21 p. $\frac{0}{0}$. Et rupture nette au milieu, diamètre réduit à. . 0^m, 023.	 6, 30
Grelin neuf en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 028 de diamètre.	2.000 3.290 3.710	Allongement de. . 14 p. $\frac{0}{0}$. *Idem.* de. . 27 p. $\frac{0}{0}$. Rupture nette au milieu, diamètre réduit à. 0^m, 0235.	 6, 00

Suite du tableau des expériences.

Désignation des cordes.	Tensions.	Effets produits.	Résistance par millimètre carré de la section.
	Kilo.		Kilo.
Grelin neuf en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 033 de diamètre.	3.000 4.340 4.480	Allongement de. 13 pour $\frac{0}{00}$. *Idem.* de. 24 pour $\frac{0}{00}$. Rupture près du billot inférieur.	5, 40
Même corde formée en ganse au moyen d'une épissure triple.	8.365	La ganse s'est rompue près du billot inférieur. Diamètre réduit à 0^m, 03.	5, 10
Vieille corde de chèvre de 0^m, 034 de diamètre.	4.000	Rupture nette	4, 40
Grelin neuf en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 04 de diamètre.	3.255 5.635 7.119	Allongeme t de.. 5 p. $\frac{0}{00}$. *Idem.* de. . 15 p. $\frac{0}{00}$. Rupture près du billot inférieur, diamètre réduit à. . . . . 0^m, 036.	5, 60
Même corde formée en ganse au moyen d'une épissure triple.	13.700	Rupture près du billot inférieur.	5, 50
Aussière neuve en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 04 de diamètre.	3.815 6.342 7.392	Allongement de.. 7 p. $\frac{0}{00}$. *Idem.* de. . 13 p. $\frac{0}{00}$. Rupture nette au billot supérieur, diamètre réduit à. . . . . 0^m, 035.	5, 90
Aussière neuve en chanvre de Strasbourg, de 0^m, 054 de diamètre.	4.000 9.501 11.091	Allongement de.. 7 p. $\frac{0}{00}$. *Idem.* de. . 14 p. $\frac{0}{00}$. Rupture au billot inférieur, diamètre réduit à. . 0^m, 049.	4, 85

Il est très-essentiel d'avoir des données positives sur la force des cordes; mais il ne l'est pas moins de bien se rendre compte de la manière dont agissent les poids qu'elles ont à supporter dans les ponts de cordages ou dans toute autre construction; il faut toujours composer ces poids suivant leurs directions pour avoir la résultante.

Supposons, par exemple, une corde AB, attachée par ses deux extrémités à des points fixes. Un poids P est placé en M; représentons-le par MN, les tensions éprouvées par les deux parties de la corde seront représentées par MC et MD. Pl. IX Fig 1

Or, il est évident que plus les angles BAM, ABM sont petits, c'est-à-dire plus la corde est tendue, plus les tensions MC et MD seront grandes pour un même poids MN.

Ainsi une corde peut supporter un poids plus considérable quand elle est lâche que lorsqu'elle est tendue.

Si plusieurs forces ou poids étaient appliqués aux points M, N, etc., d'une corde, on pourrait de même obtenir la résultante des tensions qui agissent sur elle en un point quelconque, et nous verrons plus loin que la construction des ponts de cordages actuels est basée sur les propriétés mécaniques des polygones funiculaires. Pl. IX. Fig. 2.

Des différens ponts de cordages.

Les auteurs qui font mention des ponts de cordages employés autrefois, ne donnent aucun détail sur la manière dont ils étaient faits.

On croit qu'ils se composaient en général d'un

tablier placé sur plusieurs cordes fortement tendues d'une rive à l'autre, et qu'ils avaient assez de ressemblance avec celui qui existe maintenant au fort Berthaume, bâti dans la rade de Brest sur un rocher séparé de la côte par un petit bras de mer large de 50^{m}, 00 environ.

Pont du fort Berthaume.

Le tablier de ce pont, formé de planches mises en travers sur quatre câbles parallèles de 0^{m}, 125 de diamètre, n'a que 1^{m}, 60 de largeur.

Les câbles sont attachés à des chaînes fixées après une poutre arrêtée par quatre canons de fonte enterrés verticalement, et se tendent avec des palans.

Ce pont ne sert qu'aux gens de pied; sa flèche ordinaire est de 2^{m}00, et il est bordé de chaque côté par un garde-fou en cordes, tout-à-fait nécessaire à cause de son peu de largeur et du balancement qu'occasionne la marche. On a cependant essayé de diminuer ce mouvement au moyen de deux cordages d'ancre partant du milieu du pont, et amarrés au pied des rochers.

Pont d'Alcantara.

Pl. IX. Fig. 3.

En 1810, les Anglais se sont servis d'un pont d'une construction analogue, pour rétablir le passage du pont d'Alcantara, dont les Français avaient rompu une arche.

L'ensemble du tablier reposait sur un filet en cordes de 0^{m},03 de diamètre, terminé à chaque culée par une pièce de bois mobile. Ce système, supporté d'ailleurs par deux câbles de 0^{m},10 de diamètre, se tendait simultanément à ses extrémités avec

des mouffles fixés à des corps-morts solidement engagés dans la maçonnerie.

Ce pont avait 30^{m},00 de longueur : il fut tendu et replié plusieurs fois, et servit au passage de l'armée, de son artillerie et de ses bagages. Depuis, les Anglais ont fait construire un équipage de ponts de cordages portatif, qu'ils conservent dans leurs arsenaux. Il ne diffère de celui d'Alcantara qu'en ce que les deux câbles ont été remplacés par quatre cordes de 0^{m},06 à 0^{m}07 de diamètre, et qu'on a apporté plus de soin dans l'exécution des différens détails.

La concavité du tablier, qui n'est rien pour les piétons, devient un inconvénient grave lorsqu'un pont est destiné au passage de lourds fardeaux, parce que la flèche augmente de plus en plus sous leur poids, et qu'on ne peut y remédier qu'en tendant les câbles outre mesure ; ce qui les fatigue inutilement et diminue la charge qu'ils sont susceptibles de porter.

Lorsque l'aile gauche de l'armée anglaise passa l'Adour en 1814, pour investir Baïonne, elle ne put se servir de ses équipages de ponts à cause de la violence du courant aux marées montantes et descendantes.

Le colonel Sturgeon, qui avait construit le pont de cordages d'Alcantara, proposa d'employer, au lieu de longerons, des câbles traversant toute la rivière, et soutenus par des bateaux de 20 à 30 tonneaux placés à 12 mètres l'un de l'autre d'axe en axe.

Cette disposition, qui fut adoptée, présentait aussi l'avantage de donner au pont une flexibilité que l'agitation des flots rendait nécessaire, et de permettre d'écarter les bateaux plus qu'on n'aurait pu le faire avec des longerons.

Les câbles qui portaient le tablier étaient au nombre de cinq, et avaient $0^m,10$ de diamètre; leurs extrémités du côté de la rive droite, étaient amarrées à des ancres auxquelles on avait attaché des canons de 18, et qui étaient en outre chargées de grosses pierres mises sur un lit de poutrelles; du côté de la rive gauche, les câbles étaient maintenus par des cabestans et des palans qui tenaient à un cadre en bois placé sur le sable en arrière de la digue, et recouvert de sacs remplis de terre.

Le pont fut tendu pendant deux mois sans que le passage fût jamais interrompu.

Nous avons cité le pont de l'Adour parce qu'il est un exemple du parti qu'on peut tirer des ressources de la marine quand on fait la guerre dans le voisinage des côtes.

Pont de Romans. En 1814, le pont de Romans sur l'Isère avait été coupé; les Français jetèrent un pont de cordages qui consistait simplement dans un rang de madriers placés sur des cordes. Il ne servit qu'au passage de l'infanterie, les voitures passaient dans un bac.

Pont construit en 1810, à l'armée de Portugal. On construisit en 1810, près de Punhete, à l'armée de Portugal, et devant M. le lieutenant général Tirlet, un pont de cordages de $27^m,00$ de lon-

Pl. IX. Fig. 4.

gueur. Le tablier était supporté par six cordes de $0^m,03$ à $0^m,035$ de diamètre, écartées de $0^m,44$; elles passaient sur des rouleaux servant de corps-morts, et étaient tendues au moyen de palans ; sous ces cordes on plaça quatre traverses de $0^m,08$ d'équarrissage, également espacées et destinées à maintenir leur écartement.

Ce pont ne pouvait porter que de l'infanterie : afin de le mettre en état de servir au passage de l'artillerie, on établit sur chaque rive des potences de $5^m,00$ de hauteur, portant des poulies sur lesquelles passaient deux cinquenelles de $0^m,045$ de diamètre : à chacune d'elles étaient attachées quatre poulies sur lesquelles s'enroulaient des amarres verticales de $0^m,035$ de diamètre, qui, allant s'attacher aux traverses, reportaient ainsi en partie le poids du tablier sur les cinquenelles latérales.

Pont de Douai.

M. le chef de bataillon d'artillerie Robert, qui avait dirigé la construction de ce pont, a fait à Douai, sur la Scarpe, en 1820, l'essai d'un pont semblable ; seulement les palans étaient remplacés par des cabestans établis entre les semelles des potences, dont la hauteur était réduite à 2 mètres.

Ce pont, long de 26 mètres, portait, ainsi que le premier, une pièce de 8 avec son avant-train, les chevaux, etc., c'est-à-dire plus de 2.500 kil. Il diffère peu de celui que le général Gassendi décrit dans l'*Aide-mémoire*.

Pont de La Fère.

En 1823, on fit à La Fère des expériences sur un

nouveau pont de cordages, proposé par M. le capitaine d'artillerie Labatie : il présentait des modifications essentielles.

Le tablier portait sur huit cordes de $0^m,026$ de diamètre, sous lesquelles étaient attachées des traverses de $0^m,16$ d'équarrissage, espacées de $1^m,60$ de milieu en milieu; elles étaient suspendues, au moyen d'amarres verticales de $0^m,015$ de diamètre, à quatre cinquenelles de $0^m,055$ de diamètre, accolées deux à deux de chaque côté du pont, et passant sur des poulies fixées à $5^m,50$ du sol, dans les montans d'un châssis à semelle maintenu par des jambes de force.

Ces cinquenelles étaient tendues avec des cabestans attachés par de fortes cordes à des plates-formes de $2^m,00$ à $3^m,00$ de côté, établies à $0^m,40$ ou $0^m,50$ au-dessous du niveau du sol, et chargées de manière à résister à la tension des cinquenelles. Ce moyen est préférable aux piquets dont on se servait avant, et qu'il serait impossible d'enfoncer dans un terrain pierreux.

L'infanterie, en passant sur un pont de cordages, produit un mouvement d'oscillation assez fort, surtout si elle ne rompt pas complétement le pas, ce qui est difficile à obtenir des soldats. M. le capitaine Labatie est parvenu à le diminuer beaucoup, au moyen de deux cordes de 0^m 04 de diamètre qui, se croisant sous le tablier, passaient dans des poulies de renvoi fixées à l'extrémité de deux des tra-

verses et venaient s'attacher à la rive; on les tendait au moyen de cabestans (1).

La longueur des amarres verticales ou ordonnées était telle, que le tablier fût convexe; de sorte qu'il ne dépassait pas le plan horizontal des culées quand il était chargé. Cette disposition rendait le passage plus commode et diminuait la fatigue des douze cordes qui supportaient aussi le pont.

Celui-ci avait 34^{m} 00 de longueur, et fut jeté en moins de cinq heures sur un bras de l'Oise large de 30^{m} 00; il supporta parfaitement toutes les épreuves auxquelles il fut soumis; on y fit passer de l'infanterie sur deux rangs, puis par section de six files serrées en masse, au pas ordinaire et au pas de course.

Les cavaliers passèrent par deux et même par quatre, tantôt à pied, tantôt montés.

Soixante pièces de canon de 12, attelées de six chevaux, et quarante-huit pièces de 8, de 6 ou de 4 y passèrent successivement, sans aucun accident, quoiqu'on ne prît même pas toutes les précautions

---

(1) Le dessin du pont d'Alcantara, qui se trouve dans l'*Essai sur les ponts militaires*, représente des cordages qui semblent destinés à remplir le même but que les croisières placées sous le pont de La Fère. Le filet sur lequel reposent les poutrelles doit aussi contribuer à détruire ces oscillations qui ont cela de particulier, qu'elles sont d'autant moins fortes que les hommes marchent plus vite : au pas de course elles sont nulles, parce qu'à peine produites dans un sens, elles sont détruites, par d'autres dirigées en sens contraire.

usitées sur les ponts militaires, quatre pièces s'y trouvèrent souvent engagées à la fois; et en dernier lieu une pièce de 24, traînée par quarante hommes, passa dessus.

Il résulte déjà des faits précédens que les ponts de cordages sont capables de porter les plus lourdes charges, et qu'on peut les employer avec succès, lorsque la difficulté des transports par des chemins de montagnes et l'escarpement des rives ne laissent pas le choix d'un autre moyen.

Le pont de M. le capitaine Labatie est le plus parfait de ceux dont nous venons de faire mention; néanmoins il présente plusieurs défauts que voici:

1°. Il ne paraît pas qu'on se soit occupé de la courbure la plus avantageuse à donner aux cinquenelles latérales qui supportent presque tout le poids du pont et des fardeaux additionnels. Il est cependant évident que quand le pont n'est pas chargé; et dans le cas ordinaire, lorsque la charge est à peu près répartie uniformément, ces cinquenelles doivent être considérées comme deux polygones funiculaires sollicités par des forces égales et parallèles; d'où il suit qu'elles tendront à prendre la figure qui convient au cas d'équilibre, ce qui produira des tensions inégales nuisibles à la solidité du pont; il serait donc avantageux de déterminer à l'avance la longueur des ordonnées et la position de leurs points d'attache, de manière que ces cordes aient cette figure quand le pont sera tendu.

2°. En faisant porter la charge par quatre cinquenelles, on a prévu le cas où un accident occasionerait la rupture de l'une d'elles; mais il aurait fallu étendre cette amélioration aux ordonnées et les composer d'un faisceau de petites cordes, qui sont d'ailleurs plus faciles à manier.

Nous rappelons ici que nous avons dit, en parlant des cordes, qu'il ne fallait jamais les charger d'un poids plus considérable que la moitié de celui sous lequel on présume qu'elles rompraient: ce doit être un maximum; sans cela, la précaution ci-dessus deviendrait inutile : car si une cinquenelle trop tendue par suite de dispositions défectueuses, supportait seule la charge et cassait, l'autre cèderait aussi.

3°. Les officiers d'artillerie avaient regardé la substitution de cordes aux poutrelles, dans le tablier, comme un avantage, parce que leur but était d'avoir un pont plus léger et plus transportable.

Mais nous qui n'avons point d'équipages de pont(1), nous devons considérer les ponts de cordages uni-

---

(1) Le matériel du génie comprend seulement outre les prolonges portant les caissons des compagnies de sapeurs, quatre équipages d'agrès de ponts composés d'une nacelle sur son haquet, et de six prolonges chargées de sonnettes, de deux cinquenelles de 120 mètres, de cordages d'ancre de 60 mètres, d'un approvisionnement de lignes, commandes, clameaux, etc.

Il existe à l'arsenal du génie plusieurs de ces équipages, qui pourraient être très-utiles à l'armée.

quement comme une construction de circonstance, à exécuter avec le peu de moyens qu'on a ordinairement sous la main, et n'employer par conséquent que le moins possible de cordes de forte dimension et nous servir de poutrelles qu'on trouve aisément partout.

Pont de Strasbourg des pontonniers.

Les pontonniers qui, depuis quelques années, se sont occupés des ponts de cordages, ont envisagé la question sous le même point de vue : ils pensent comme nous que ces ponts, dans quelques cas, doivent être construits de préférence à tout autre, et procureront une communication facile entre deux rives, lorsqu'il pouvait sembler impossible d'en établir ; mais à moins que la guerre n'ait lieu dans un pays montagneux, où l'on serait peut-être à même d'en faire un fréquent usage, ils ne jugent pas qu'on ait à s'en servir assez souvent pour qu'il soit nécessaire d'avoir un équipage particulier de cette espèce à la suite de l'armée ; ils ont donc cherché dans leur équipage de pont de bateaux tous les élémens nécessaires pour la construction instantanée d'un pont de cordages ; ils y ont parfaitement réussi, et le système qu'ils ont adopté étant le résultat des améliorations successives que l'expérience a mis à même de faire, n'a plus les défauts des autres ponts.

L'étude des considérations théoriques qui ont présidé à la construction des ponts en fer établis en Angleterre et en France, n'a pas dû peu contribuer au perfectionnement des ponts de cordages.

Le mémoire de M. Navier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sur les ponts suspendus, contient un grand nombre de faits et de principes qui leur sont applicables. Il faut cependant remarquer que tous les résultats relatifs aux ponts en fer ne peuvent pas convenir aux ponts en cordes et en bois, parce que le poids considérable des premiers permet souvent de négliger dans les calculs celui des fardeaux additionnels, ce qui ne pourrait avoir lieu pour ceux dont il est question ici.

Pont construit à Metz en 1827, sur la Seille. Pl. X, fig. 5.

Nous allons passer à la description du premier pont de cordages que nous avons construit à l'école régimentaire de Metz en 1827, sans donner de détails sur celui des pontonniers, qui n'en différait que par la longueur, l'équarrissage des bois, le diamètre des cordes, etc., qu'on avait cherché à coordonner de manière que la force relative de chaque partie fût la même; du reste, le système de construction est semblable, et c'est là surtout ce qu'il importe d'examiner.

La longueur de ce pont était de $28^{m},00$, sa largeur de $4^{m},00$; on choisit pour le jeter un canal large de $24^{m},00$, par lequel la Seille entre dans la place de Metz. Cet endroit, assez incommode sous quelques rapports, était très-convenable pour servir d'exemple, en ce qu'il était impossible d'y jeter un pont d'une autre espèce, les rives étant élevées de 8 à 10 mètres au-dessus du niveau ordinaire des eaux, et le canal étant revêtu en maçonnerie.

Le tablier reposait sur cinq cours de poutrelles

longues de $7^{m},00$, et de $0^{m},11$ d'équarrissage, espacées d'axe en axe de $0^{m},85$, portant sur seize autres poutrelles transversales ou chapeaux, longs de $5^{m},00$ seulement, et de $0^{m},13$ d'équarrissage, suspendus à quatre cinquenelles latérales, placées deux à deux de chaque côté du pont, par des ordonnées formées d'un faisceau de petites cordes; ces cinquenelles s'enroulaient sur des poulies fixées à $4^{m},00$ de hauteur à des potences établies sur les rives; on les tendait, au moyen de huit palans fixés par des cordes d'une force égale à celle des cinquenelles, à des corps d'arbres placés, comme nous le dirons, à $2^{m},00$ au-dessous du sol.

La longueur des ordonnées et des parties de cinquenelles comprises entre elles était calculée de manière à ce que les cinquenelles eussent la figure de polygones funiculaires en équilibre, lorsque le poids des fardeaux rendait le tablier horizontal; et, dans ce but, on donnait ordinairement à celui-ci une flèche de $1^{m},00$ à $1^{m},50$, ainsi que l'indique le trait ponctué dans la figure.

Les oscillations latérales étaient diminuées au moyen de deux croisières qui formaient plusieurs losanges sous le pont en passant sur des poulies placées à l'extrémité de cadres formés par deux chapeaux réunis entre eux par des traverses, afin de les empêcher de faire aucun mouvement. Ces croisières étaient tendues fortement avec de petits cabestans horizontaux, arrêtés par deux piquets et un levier.

Pour faire comprendre la manière dont elles agissent, observons qu'elles arrêtent les oscillations, d'abord par leur frottement sur les poulies, et surtout parce que leurs points de rencontre a, b, c deviennent fixes. Différens essais furent faits, afin de savoir comment il fallait disposer les croisières, pour qu'elles produisissent le plus d'effet possible. Les pontonniers ne plaçaient qu'un seul cadre au milieu du pont; il nous parut plus avantageux d'en mettre deux, écartés de trois travées : les oscillations étaient alors très-faibles. On avait la précaution de fixer solidement l'extrémité des poutrelles longitudinales sur les culées; c'est là que le mouvement commençait toujours à se faire sentir; il se propageait ensuite dans toute la longueur du pont.

Les points d'attache des croisières sur les rives étaient d'ailleurs aussi écartés que la longueur des cordes et les localités le rendaient possible.

La construction de la carcasse du pont, celle des potences, et l'excavation des fosses destinées à placer les pièces de bois auxquelles sont attachés les palans, sont trois opérations distinctes, tout-à-fait indépendantes les unes des autres, et qui étaient menées de front.

Nous adoptâmes, pour faire ce pont, la méthode des pontonniers, qui, au lieu de le construire sur place au fur et à mesure, l'apportent tout fait à l'endroit où il doit être jeté, et le tendent ensuite. On gagne ainsi du temps, et on diminue peut-être le danger du travail; mais ce procédé, très-bon pour

un pont de cordages de dimension moyenne, demande à être modifié quand il s'agit de construire un pont d'une longueur considérable. Dans tous les cas, il faut déterminer à l'avance, d'une manière précise, la longueur que prendront les différens cordages quand le pont sera tendu.

Les données nécessaires pour cela sont :

1°. La nature et les dimensions des matériaux dont on peut disposer ;

2°. La longueur totale du pont et la hauteur du point d'attache des poulies, qui étaient ici, la première de 28^{m}, 00, la seconde de 4^{m}, 00.

Tous les cordages qui devaient faire partie du pont furent soumis aux épreuves rapportées dans la note préliminaire sur les cordes. Vu les détails que celle-ci contient, nous nous bornerons à donner ici le tableau de leurs dimensions et de leur force.

	Diamètre des cordes employées.	Poids moyen occasionant la rupture.
Cinquenelles.	0^{m}, 054	11.000 kil.
Croisières.	0^{m}, 030	4.000
Cordes pour les ordonnées. .	0^{m}, 013	1.250
Commandes.	0^{m}, 013	1.250
Cordes servant à équiper les palans.	0^{m}, 025	3.000
Cordes servant à attacher les palans aux pièces de bois enterrées.	0^{m}, 025	3.000

L'équarrissage des différentes pièces de bois em-

ployées fut réglé par la formule que donnent tous les auteurs,

$$F = c\frac{b\,h^2}{l}$$

Dans laquelle F représente le plus grand poids qu'elles pouvaient avoir à supporter; c un coefficient constant déterminé par une expérience, et égal ici à 4.000.000^{kil} environ, pour le sapin qui servit à faire les poutrelles, etc.; b et h les deux dimensions de l'équarrissage des pièces, et l leur longueur.

Le pont devant être apporté tout fait, on choisit un terrain horizontal, sur lequel on commençait par construire la carcasse du tablier, en partant du milieu; les poutrelles longitudinales étaient disposées de manière à ce que leurs points de recroisement fussent uniformément répartis sur les chapeaux, avec lesquels on les fixait, au moyen de commandes, en se servant d'amarrages en *croix de saint André*, dirigés tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, afin de s'opposer au glissement, et arrêtés par un *nœud droit à ganse* (1).

Ceci achevé, on attachait les ordonnées aux cinquenelles et aux chapeaux.

---

(1) Pour faire un nœud droit à ganse, croisez les deux bouts de cordages, faites avec celui de dessus un tour embrassant l'autre, ce qui forme un nœud simple; faites ensuite une ganse à l'un des bouts et recommencez un nouveau nœud simple avec cette ganse et le second bout.

Le travail des deux moitiés d'un même côté du pont étant le même, il suffira de considérer l'une d'elles, à laquelle correspondent neuf ordonnées, y compris la hauteur de la poulie au-dessus de la culée.

La travée du milieu était fixée immédiatement après les cinquenelles, et l'ordonnée correspondante était par conséquent zéro.

Pour déterminer les autres, on prend la suite des nombres naturels,

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8;

On ajoute successivement 0 et 1, ce qui donne 1; 1, résultat obtenu, et 2, ce qui donne 3; 3 et 3, 6; etc. on a ainsi la suite:

1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36,

Qui représente la longueur relative de chacune des ordonnées, à partir de celle du milieu qui est zéro.

La première est donc égale à $\frac{1}{36}$ de la hauteur de la poulie que supporte la potence, la seconde à $\frac{3}{36}$, etc. Afin d'avoir des nombres ronds, on prit la première égale à $0^m,112$, ce qui porta la hauteur ci-dessus à $4^m,032$, au lieu de $4^m,00$.

Cette règle pratique, bien aisée à retenir, serait la même, quel que fût le nombre des ordonnées, et se déduit des considérations suivantes :

Pl. X. Fig. 6. Si on suppose la charge uniformément répartie sur le pont, elle peut être représentée par un sys-

tème de forces égales et parallèles, appliquées aux points m, m', m'', etc., des cinquenelles, sollicitées, en outre, par les tensions opposées, qui agissent suivant les côtés adjacens du polygone funiculaire. Mais, puisqu'il y a équilibre autour de chacun de ces points, il faut que l'une quelconque de ces forces soit égale et directement opposée à la résultante des deux autres. Si donc on construit les différens parallélogrammes $pmm'p'$, $p'p''m''m'$, etc., on retrouve aisément la loi indiquée, en comparant entre eux les triangles $mm'p'$, $m'p''m''$, etc.

De cette construction résultent aussi les distances mm', mm'', etc., auxquelles doivent être attachées les ordonnées.

Les triangles $mp'm'$, $m'gm''$, etc., qui ont pour hypothénuses ces longueurs, et pour bases des lignes égales entre elles, mp', $m'g$, etc., ont pour hauteur les différences entre les ordonnées successives, il sera donc facile de trouver graphiquement toutes ces hypothénuses mm', $m'm''$, etc. Pl. X. Fig 6.

En effet, si on trace une ligne MO, égale à l'intervalle entre les ordonnées et sa perpendiculaire MD, divisée aux points m, m', m'', etc., en parties égales chacune à la première ordonnée mp, les distances Mm, Mm', etc., représenteront les différences entre les ordonnés successives, et les obliques Om, Om', Om'', etc., seront les hypothénuses cherchées. Pl X. Fig. 7.

Les cordes neuves s'allongent au moins d'un douzième sous une charge moyenne; il faut réduire

autant que possible toutes les dimensions précédentes dans ce rapport. Pour cela, on mène la ligne XY, telle que $MX = \frac{1}{12} MO$ et $DY = \frac{1}{12} DO$.

Ces constructions graphiques, qui déterminent très-simplement les longueurs dont on avait besoin, étaient faites sur quelques madriers placés jointivement.

Lorsqu'elles étaient terminées, on plaçait à droite et à gauche du pont les quatre cinquenelles, sur lesquelles on marquait avec de la craie les points d'attache des ordonnées, et on coupait les cordes destinées à composer celles-ci de façon qu'elles eussent quatre fois la longueur des ordonnées, déterminée par la figure, plus le développement des nœuds.

On les divisait ensuite en deux parties égales, et chacune de celles-ci était fixée par le milieu à chacune des cinquenelles, au moyen d'un *nœud à tête d'alouette* (1). Cela fait, on les attachait au chapeau correspondant par un nœud d'artificier (2).

Pl. X. Fig. 8

---

(1) Ce nœud se fait en formant une ganse avec laquelle on embrasse l'objet à étreindre, passant les deux brins dans cette ganse en serrant; ce nœud n'a jamais glissé mais il peut être arrêté complétement au moyen d'une petite broche en fer qui traverserait la cinquenelle.

(2) Pour faire un nœud d'artificier, on fait passer le brin d'une corde autour de l'objet, on le ramène sur lui-même, puis on le fait passer de nouveau autour de celui-ci en le faisant croiser en suite sous la partie de la corde qui forme le deuxième tour, et on l'arrête avec le second brin par un nœud droit.

Avant de serrer ce nœud, nous avions soin de donner à l'ordonnée sa longueur exacte. Il était cependant très-aisé de rectifier la position ou la longueur des ordonnées, et même de les remplacer quand le pont était tendu. Cette opération se faisait en introduisant un levier entre les deux cinquenelles, et pesant successivement sur chacune d'elles, afin de rendre lâches les deux brins de l'ordonnée qui lui appartenaient, et de pouvoir ainsi les allonger ou les raccourcir, pendant que les deux autres restaient tendues et supportaient seules la partie correspondante du tablier.

C'est par cette raison qu'on attachait deux brins sur chaque cinquenelle, au lieu de les embrasser à la fois. Cette disposition permettait de donner exactement la même courbure à ces dernières, en les tendant séparément; ce qui n'eût pas été possible sans cela.

Pendant qu'on fixait les ordonnées, on amarrait aussi les palans (1) aux cinquenelles, à deux ou trois mètres environ du point où elles passaient sur les potences (2). Ces palans étaient en bois de frêne,

(1) Lorsque les poulies renferment plusieurs rouets dans une même chape, quelle que soit d'ailleurs la force de celle-ci, on leur donne le nom de palans.

(2) On se servait pour cela d'un amarrage formé d'une chaîne de demi-boucles, qu'il serait nécessaire de voir pour bien comprendre. Il est indispensable qu'il soit bien fait, sans quoi les palans glisseraient et on ne pourrait tendre le pont. Pour le faire,

à trois rouets, et garnis de bandes en fer d'une force suffisante, façonnées d'un côté en anneaux.

Les boulons qui servaient d'axe aux rouets traversaient ces bandes.

Leur diamètre avait été réglé de manière qu'ils fussent capables d'une résistance plus considérable que les efforts qu'ils pourraient éprouver (1).

Tout le travail précédent doit durer deux heures, quand les hommes sont exercés : nous en mettions trois à le faire, parce qu'il fallait souvent expliquer aux sapeurs comment se faisaient les nœuds, et il est essentiel que ceux-ci soient bien faits.

Les potences avaient été faites à l'avance dans les ateliers ; elles se composaient de deux montans de $0^m,30$ sur $0^m,20$ d'équarrissage, écartés d'axe en

---

après avoir doublé la corde, on la fixait à la cinquenelle par un nœud d'artificier très-serré, puis on enveloppait celle-ci avec les quatre brins réunis par deux demi-boucles ; passant ensuite ces brins dans l'anneau du palan, on les ramenait en dessus en terminant par un amarrage en pate d'oie.

La tension était ainsi supportée par huit brins de cordes offrant ensemble une résistance de 24.000 kil., 3.000 kil. chacun, tandis que la force de la cinquenelle n'était que de 11.000 kil.; mais nous jugeâmes que cet excès de résistance était nécessaire, parce qu'il n'était pas impossible que l'anneau de la poulie coupât quelques brins de la corde.

(1) M. Navier dit que la force absolue du fer est de 40 kil. par millimètre carré de la section, mais qu'il se manifeste des allongemens et des changemens de figure dès 20 kil. Dans les ponts en fer la charge maximum ne dépasse pas 13 kil. environ.

Nous avons adopté cette base.

axe de 4^{m},30, et reliés par une traverse moisée placée au-dessous des poulies.

Leurs extrémités inférieures étaient maintenues par des liens butans, et engagées dans des semelles en croix, enterrées de leur épaisseur, et arrêtées par des piquets.

La tête de chaque montant était renforcée par une bande en fer de 0^{m},005 d'épaisseur, qui servait de monture à deux poulies en fonte, de 0^{m},20 de diamètre, et 0^{m},06 d'épaisseur, séparées par une rondelle, et traversées par un boulon de 0^{m},05 de diamètre.

Cette dernière dimension était nécessaire pour que les boulons pussent résister à la pression provenant des tensions des cinquenelles au sommet de la potence.

Les palans qui devaient faire système avec ceux des cinquenelles étaient attachés chacun par un faisceau de cordes, ne rompant qu'à 24.000 kilog., après des pièces de bois enterrées à 2 mètres au-dessous du sol, et susceptible d'une résistance supérieure à la tension des cinquenelles.

Pour s'assurer que cela avait lieu, il fallut d'abord examiner qu'elle était la plus grande charge que le pont pût avoir à supporter, et comment elle agissait.

La largeur du tablier entre les poutrelles de guindage n'excédant pas 3^{m},30 environ, l'infanterie ne pouvait passer que sur six hommes de front au plus. En supposant moyennement le poids d'un soldat

armé de 85 kil., et les rangs distans de $0^m,66$, on trouve, pour la charge du pont, 250 hommes, pesant 21.250 kil.; la cavalerie sur deux rangs ne chargerait que de 10.000 kil.

Quant à l'artillerie, on ne peut pas supposer plus de deux ou trois pièces engagées à la fois sur le pont, puisque celui-ci a $28^m,00$, et qu'une pièce occupe $13^m,00$ en longueur, y compris les chevaux.

En admettant que ce fussent même des pièces de 12, elles ne pèseraient pas ensemble au delà de 10 à 11.000 kil.: à la vérité la charge provenant des voitures, quoique moindre que celle qui est produite par le passage de l'infanterie, donne lieu à des changemens de figures et à des tensions inégales provenant de ce que la charge agit en un seul point du pont (1).

---

(1) L'expression de l'abaissement du pont pour un poids π, placé au milieu, est selon M. Navier

$$\frac{\pi f}{4 p h}$$

f représente la flèche de la courbe des chaînes de suspension, $2h$ la longueur du pont, et p le poids sur l'unité de longueur.

Il tire de cette formule les conséquences suivantes :

1°. Pour un poids donné, l'abaissement est proportionnel à la flèche et réciproque au poids du pont.

2°. Il est le même pour différens ponts dans lesquels les flèches varieraient proportionnellement aux longueurs. C'est le cas des courbes semblables.

3°. Lorsque la flèche diminuera dans un rapport plus grand que la longueur, l'abaissement diminuera; mais en revanche la

Le poids de l'infanterie passant sur six rangs, 21.250$^{kil.}$, est donc le plus considérable; il faut y joindre 4.200$^{kil.}$ pour le tablier et les cordes : le poids total étant par conséquent 25.450$^{kil.}$; chacune des cinquenelles en supportera le quart ou 6.363$^{kil.}$; décomposant ce poids en 16 autres agissant suivant les ordonnées, chacune de celle-ci sera sollicitée par un poids de 397$^{kil.}$,68, qui sera représenté dans les triangles $amp, pm'p' \ldots p^{n-2} m^{n-1} p^{n-1}$, par les côtés mp, $m'p' \ldots m^{n-1} p^{n-1}$, tandis que les lignes $am, pm' \ldots p^{n-2} m^{n-1}$ représentent les tensions aux points $m, m' \ldots m^{n-1}, D$. Pl. X. Fig. 6.

La cinquenelle éprouve la tension *maximum* au point D où elle repose sur la poulie, et c'est à cette force que le point d'attache des palans doit résister. (La direction de la potence partageait en deux parties égales l'angle formé par la cinquenelle.)

Pour parvenir à la connaître, remarquons que la tension en un point quelconque peut être considérée comme la résultante de deux forces, l'une horizontale, constante et égale, ou plutôt proportionnelle à $mn = mp' = etc. = m^{n-1} l$, l'autre verticale et égale à p, $2p$, $3p \ldots np$.

---

tension augmentera et compensera cet avantage : ceci résulte de la valeur de la tension que M. Navier trouve être égale à

$$\frac{p h^2}{2f} \sqrt{1 + \frac{4 f^2 x^2}{h^4}}$$

Il est à remarquer que ces résultats sont obtenus, en admettant que le poids π est très-petit, par rapport à celui du pont.

Pour les points correspondans $m, m', m''\ldots D$.

p représentant le poids qui agit suivant chaque ordonnée des cinquenelles, et le facteur 1, 2, 3, *etc.* n indiquant le rang de cette ordonnée à partir du point inférieur de la courbe.

Si nous appelons T la tension, nous aurons dans le triangle $m^{n-1}\,l\,D$

$$T : n^p :: \sqrt{\overline{Dl}^2 + \overline{m^{n-1}l}^2} : Dl \quad (1).$$

Proportion qui donnerait *le rapport de la tension au poids* en un point quelconque du polygone.

On tire $T = \frac{np}{Dl}\sqrt{\overline{Dl}^2 + \overline{m^{n-1}l}^2}$

Or $Dl = \frac{8}{16}\,DA = 0^m, 896$, $m^{n-1}\,l = 1^m, 647$, $p = 397,68$ et pour le point D, $n = 8$.

(On se rappelle que DA, hauteur des poulies,

---

(1) Si on compare les deux proportions

$$T : np :: \sqrt{\overline{Dl}^2 + \overline{m^{n-1}l}^2} : Dl,$$

Et $$T' : n'p' :: \sqrt{\overline{D'l'}^2 + \overline{m^{n-1}l'}^2} : D'l',$$

qui déterminent la tension pour deux points différens; on a évidemment, en supposant les deux polygones funiculaires semblables,

$$\frac{T}{np} = \frac{T'}{n'p'}.$$

Mais p a la même valeur dans les deux cas, donc

$$T : n :: T' : n';$$

c'est-à-dire que les tensions sont proportionnelles aux nombres des ordonnées et aux longueurs.

est égal à 4^m, 032, et que $m^{n-1}\,l$, ou l'intervalle entre les chapeaux est égal à $\frac{16}{17}{}^m = 1^m, 647.$)

Par conséquent $T = 6.657^{kil.}, 59.$

Chacune des quatre cinquenelles avait donc à supporter une tension de $6.650^{kil.}$, en nombre rond, et la force à laquelle devaient résister les points d'attache des palans était quadruple ou de $26.600^{kil.}$.

Pour éviter les accidens il faut toujours doubler ce dernier résultat.

Les pontonniers attachaient leurs palans après des cadres en charpente placés horizontalement dans des fosses de 2^m 00 de profondeur, qu'ils remplissaient ensuite de terre. Pl. X. Fig. 9.

Cette disposition a l'inconvénient d'exiger un déblai et un remblai considérable, et de n'utiliser qu'une partie du poids de la charge du cadre, puisque celle-ci se décompose en deux forces, l'une perpendiculaire aux cinquenelles, l'autre parallèle; et cette dernière agit seule pour détruire l'effort de la tension.

Nous avions trouvé plus avantageux de fixer les palans à des cordes placées dans la direction même des cinquenelles, et de poser la plate-forme perpendiculairement à celle-ci.

L'excavation à faire est moins considérable, et la résistance, à profondeur égale, est plus que double.

Cette résistance se compose :

1°. Du poids du prisme de terre *MNK* décomposé suivant le plan *MK*; Pl. Xfig. 10.

2°. Du frottement de ce prisme sur le même plan;

3°. De la cohésion des terres, que nous négligeons faute de moyens prompts pour l'évaluer.

Si du point G, centre de gravité du prisme, on abaisse la verticale GP et la perpendiculaire GO, les triangles GOP, $Dm^{n-1}Q$ seront semblables, et si on représente par α l'angle $OGP = Dm^{n-1}Q$, par P le poids du prisme, la composante de ce poids suivant le plan MK, sera

$$P \sin. \alpha.$$

Le frottement étant proportionnel au poids, toutes choses égales d'ailleurs, le frottement sur le plan MK sera égal à la composante du poids du prisme perpendiculaire à ce plan, multipliée par un coefficient constant pour chaque espèce de terre que j'appellerai φ : l'expression du frottement est donc

$$\varphi P \cos. \alpha.$$

Pour déterminer x, remarquons que le frottement sur le talus naturel des terres fait équilibre à la force qui tend à faire glisser le prisme : ainsi représentant par c l'angle du talus naturel des terres, on a :

$$P \sin. C = \varphi P \cos. C,$$

D'où $\varphi = \frac{\sin. C}{\cos. C} = \text{tang. } C.$

Le frottement est donc égal à

$$P \cos. \alpha \text{ tang. } C,$$

Et l'expression de la résistance provenant du prisme MNK, sera :

$$P\,(\text{Sin. } \alpha + \text{Cos. } \alpha \text{ Tang. } C.)$$

Pour les terres ordinaires $C = 45°$ et Tang. $C = 1$, la formule précédente devient

$$P\,(\text{Sin. } \alpha + \text{Cos. } \alpha.)$$

Or Sin. α et Cos. α sont proportionnels aux côtés du triangle $D m^{n-1} Q$ semblable à GOP, on a donc $m^{n-1} D : DQ + m^{n-1} Q :: P : P\,(\text{Sin. } \alpha + \text{Cos. } \alpha)$

Et $P\,(\text{Sin. } \alpha + \text{Cos. } \alpha) = P \frac{DQ + m^{n-1} Q}{m^{n-1} D}$

Valeur de la résistance du prisme en fonction de son poids et de quantités connues.

Elle est plus grande que ce poids, bien que nous ayons négligé la cohésion des terres.

Les deux forces résultant du poids et du frottement agissent parallèlement à MK; la seconde agit même dans ce plan, mais la première a son point d'application au centre de gravité G.

Les cordes auxquelles sont fixés les palans doivent passer par la direction de la résultante de ces forces, dont le point d'application est déterminé par le rapport.

$$RG : RO :: P \text{ Cos. } \alpha : P \text{ Sin. } \alpha.$$

En appliquant ce qui précède au pont jeté sur la Seille, nous donnâmes $2^m,00$ de profondeur à l'excavation destinée à recevoir la plate-forme qui avait elle-même $7^m,00$ de longueur, et, le mètre cube de terre pesant de 1.300 à 1.400$^{kil.}$, la résistance du prisme MNK était d'environ 50.000$^{kil.}$.

Pl. IX. Fig. 5. La direction des cinquenelles et des cordes des palans passait à $0^m,25$ du fond et s'attachait, comme le montre la figure, après un corps d'arbre de $7^m,00$, devant lequel étaient placés des madriers et de vieilles palissades, formant la plate-forme destinée à presser la terre en avant.

Nous avons insisté sur tous ces principes théoriques, parce qu'ils sont les mêmes, quelles que soient la figure et les dimensions des ponts de cordages. Pour terminer ce qui est relatif à celui-ci, il reste à indiquer le nombre d'hommes nécessaires pour le jeter, leur répartition, etc., et à rendre compte des épreuves qu'on lui fit subir.

Nous employâmes ordinairement cent deux hommes et six sous-officiers à la construction de ce pont; ils étaient d'abord divisés ainsi :

1°. Deux brigades composées chacune de un sous-officier et vingt hommes, chargées de creuser les fosses des plate-formes, de placer les corps d'arbres, les cordes des palans, etc.

2°. Deux brigades de un sous-officier et quatorze hommes exercés qui, après avoir disposé les poutrelles et les chapeaux sur le sol comme ils doivent l'être, travaillaient chacun à l'une des deux moitiés symétriques du pont, et étaient distribués de la manière suivante :

Cinq hommes occupés à fixer les poutrelles sur les chapeaux; un homme muni d'une masse pour égaliser ceux-ci; quatre hommes aux ordonnées pour les fixer aux chapeaux et aux cinquenelles;

quatre hommes à attacher les palans après celles-ci.

Les trente-quatre hommes restans étaient employés, sous la surveillance de deux sous-officiers, à apporter les matériaux, enfoncer les piquets, préparer les abords du pont, planter les potences, etc.

Lorsque la carcasse était faite, on plaçait dessus les cinquenelles et les palans, puis on l'apportait à la culée du pont. Ce transport s'effectuait aisément en mettant quatre hommes par chapeau, six aux deux extrémités où étaient les palans, et cinq aux poutrelles longitudinales qui dépassaient; en tout quatre-vingt-deux hommes.

Les vingt autres passaient à la culée opposée dans un bateau, et lorsque les premiers avaient engagé le pont sur deux forts cordages, tendus à cet effet d'une rive à l'autre, ils le faisaient glisser dessus en tirant avec des amarres, pendant que les hommes qui avaient apporté le pont facilitaient le mouvement en continuant à le soulever.

Cette manœuvre, la seule qui présentât quelque danger, a toujours réussi sans accident. Il fallait avoir soin que les cordages tendus en travers fussent solides et ne fissent pas une flèche de plus de $0^m,40$ à $0^m,50$ pour une longueur de $28^m,00$, avant que le pont fût dessus. On recommandait aussi aux hommes d'agir ensemble et de s'engager le moins possible entre les chapeaux, afin de ne pas être entraînés si les cordages étaient venus à casser.

Aussitôt que le pont était en place, on dressait

la potence de la culée par laquelle il était arrivé; l'autre avait été élevée d'avance.

Cela fait, on répartissait les hommes aux palans, sous la surveillance de quatre sous-officiers, pendant que les deux autres, avec quelques hommes choisis, plaçaient les cinquenelles sur les poulies des potences, équipaient les palans, etc., et lorsque le pont était tendu, ils plaçaient les croisières et les cabestans destinés à leur donner une raideur convenable.

On suppléera facilement à ce qui manque dans cette description du travail. La construction d'un pont de cordages n'offre pas de grandes difficultés; mais, quand on a affaire à des hommes qui sont peu exercés, il est important de mettre beaucoup d'ordre, d'indiquer clairement à chacun ce dont il est chargé, et de réserver ceux qui ont plus d'habitude et d'intelligence que les autres pour faire les nœuds, etc.

Nous mettions environ cinq heures pour jeter ce pont, y compris le temps de faire les fosses et de construire la carcasse.

Pour le replier, nous le défaisions sur place, partie par partie, en se retirant vers la culée de départ; puis on enlevait les cinquenelles.

On eût pu le construire par un procédé analogue, qui serait préférable à l'armée, parce qu'il n'exige pas de cordes auxiliaires.

M. le général Treussart, chargé de l'inspection du 3e. régiment du génie, assista à la manœuvre de

ce pont ; on fit passer dessus des sapeurs, sur deux, trois et quatre rangs, et par sections de six files serrées en masse, au pas et en courant.

Enfin, à défaut de pièces d'artillerie, on amena une voiture du train du génie, attelée de quatre chevaux, et portant une charge de 1.200 kil. ; elle pesait en tout 3.300 kil.

Le tablier resta parfaitement horizontal pendant qu'elle passa, et cette expérience, que nous avions déjà faite, n'occasiona pas la plus légère apparence d'accident.

Les oscillations horizontales, dont nous avons parlé, étaient tout-à-fait nulles pendant le passage de la voiture et des chevaux ; elles étaient sensibles pendant celui des hommes, mais jamais assez pour être dangereuses, et il suffisait d'arrêter un instant la marche pour les faire cesser.

En résumé, ce pont, qui fut jeté et replié plusieurs fois sans accident, réunissait la légèreté et la solidité à une assez grande simplicité d'exécution ; il resta tendu à diverses reprises pendant quinze jours, sans exiger aucune réparation, quoiqu'il passât beaucoup de monde dessus (1).

On peut lui objecter d'être fait avec trop de soin, d'exiger trop de poulies et d'agrès, et de ressembler plutôt à un pont d'équipages qu'à un pont de

---

(1) Les sapeurs de planton comptèrent certains jours jusqu'à quatre et cinq mille personnes.

circonstance. Nous répondrons à cela que c'était le premier qu'on eût fait dans les troupes du génie, et qu'il fallait commencer par imiter à peu près ce que les autres avaient fait avant nous; d'ailleurs il fallait qu'il fût solide et soigné dans ses détails; le but qu'on se proposait étant surtout d'habituer les sapeurs à manier des cordes, à se servir de palans, et de les exercer aux différens genres de travaux que comprend la construction d'un pont de cordages.

Pont de M. le général Treussart.

Pl. X. Fig. 2.

M. le général Treussart, pendant son séjour à Metz en 1827, donna l'idée du pont de cordages suivant, qui fut construit devant lui sur un fossé sec de l'ouvrage qui couvre l'écluse d'inondation de la Seille, à côté de l'emplacement choisi pour le précédent.

Ce pont avait près de $17^{m},00$ de largeur; son tablier reposait sur cinq cours de longerons de 9 à 10 mèt. de longueur; l'une des extrémités de ceux-ci portait sur la rive, et l'autre sur un chevalet placé au milieu de la largeur; ce chevalet, dont les pieds étaient engagés dans deux semelles horizontales réunies par des traverses, avait $2^{m},50$ de hauteur, et était soutenu en l'air par quatre cinquenelles de $0^{m},035$ à $0^{m},04$, tendues en travers de manière à ce que le tablier fût légèrement convexe.

Des croisières fixées à chaque extrémité du chapeau, et tendues avec des cabestans horizontaux, arrêtaient les oscillations.

Les cinquenelles qui supportaient le chevalet

venaient s'enrouler autour de deux corps d'arbres de $0^{m},25$ de diamètre, enterrés de leur épaisseur, et maintenus par une ligne de forts piquets. Cette manière de créer des points d'attache est fort simple; mais il faut avoir l'attention de faire tourner les cordes autour du corps d'arbre en sens inverse l'une de l'autre, afin que celui-ci ne puisse bouger (1).

Pour jeter ce pont, il fallait d'abord préparer les culées, placer les cinquenelles, les tendre convenablement, et les arrêter avec une commande; ensuite le chevalet était apporté, renversé les pieds en avant; et, après l'avoir fait glisser sur les cinquenelles, on le redressait au moyen de cordages attachés au chapeau et aux pieds, sur lesquels tiraient des hommes

---

(1) Nous avons supposé jusqu'ici qu'on se procurait des points d'attache en chargeant de terre des cadres placés dans des fosses; dans un pays de montagnes on pourrait mettre dessus ceux-ci des pierres et des rocailles plus pesantes que la terre, ou même attacher immédiatement les cinquenelles à des blocs de rochers.

On peut encore se procurer un point fixe, en plaçant une pince de fer dans une fente, une crevasse, etc.

Si un pont de cordages était employé à rétablir un pont coupé, on placerait les plate-formes dans des excavations faites au milieu des piles, et on les chargerait de débris de maçonnerie.

Sur un pont en charpente, on disposerait les points d'attache de manière à reporter l'effort sur les pilots des palées voisines, ou bien on se contenterait de placer sur la partie existante du pont de grands cadres chargés de pierres, de boulets, etc.

En général, les circonstances locales indiqueront les moyens à employer.

placés sur la rive opposée, tandis que ceux qui l'avaient amené le maintenaient avec d'autres cordages.

Lorsque le chevalet était mis en place, on apportait des longerons, et la construction du tablier s'achevait sans difficulté.

Nous employâmes deux heures et demie pour construire entièrement ce pont, avec deux sous-officiers et vingt-cinq hommes.

Le chevalet avait été fait en huit heures par quatre charpentiers : ils auraient pu y mettre moins de temps.

Les avantages que présente ce pont sont évidens. Il exige peu de matériaux, sa construction est fort simple, et il a une grande stabilité, parce que son centre de gravité est au-dessous de l'horizontale des culées.

Nous le regardons comme un moyen excellent de rétablir la communication sur des arches coupées de 15 à 20 mètres d'ouverture.

Mais cette dimension doit être un maximum, s'il est destiné au passage des voitures, parce que la tension des cinquenelles employées est proportionnellement bien plus considérable que dans les ponts à chaînette.

En effet, si on représente par T la tension, et par P le quart du poids du pont et des charges additionnelles, on aura :

$$T : P :: AC : BC.$$

Or, comme il n'est guère possible de donner plus de $3^m,00$ de hauteur au chevalet, cette proportion deviendra, pour un pont de $28^m,00$:

$T : P :: 13 : 3$, à peu près $:: 4 : 1$.

Tandis que dans le pont jeté sur la Seille, qui avait précisément cette longueur, on avait, en appelant P le poids supporté par une ordonnée, et np le quart de celui du pont, etc.,

$T : np :: 1{,}875 : 0{,}896$, à peu près $:: 2 : 1$.

L'effet utile des cinquenelles serait donc double, puisque si on suppose $P = np$, ou pour un même poids, la tension serait moitié moindre.

En plaçant deux chevalets au lieu d'un seul, on augmenterait l'inclinaison des cordes et on diminuerait la portée des longerons ; mais la flexibilité de ce système s'opposerait peut-être à ce qu'il fût bien stable : ce serait un essai à faire. On pourrait même tenter de construire un pont supporté par plusieurs pièces de bois verticales, ou par des chevalets portant sur des cinquenelles, et dont les hauteurs seraient réglées de telle sorte que celles-ci eussent la forme d'une chaînette. Pl. X. Fig. 12.

Pont construit sur la Moselle.

Afin de montrer comment on pourrait jeter à l'armée un pont de cordages, sans employer de palans ni de potences préparés à l'avance, comme nous l'avions fait d'abord sur la Seille, nous essayâmes, au mois de septembre 1827, d'en construire un sur la Moselle, auprès du saillant de la *lunette verte*. Pl. X. Fig 13.

La largeur de la rivière était de $49^m,00$.

Le tablier du pont, long de $51^m,00$, avait seule-

ment $2^m,20$ de largeur; il était aussi étroit, parce que nous manquions de madriers, et il n'y aurait eu aucune difficulté à faire un tablier de $4^m,00$.

Les madriers étaient mis en long sur des traverses de $0^m,10$ d'équarrissage, qui elles-mêmes reposaient sur deux cours de poutrelles longitudinales maintenues ensemble par des brélages.

Ces deux cours étaient supportés par des ordonnées fixées à quatre cinquenelles, placées deux à deux de chaque côté du pont, et espacées de $3^m,00$. Elles passaient du côté de la lunette sur une potence haute de $10^m,10$, enveloppaient la traverse de celle-ci par une boucle, puis allaient s'enrouler autour d'un grand corps d'arbre, long de $16^m,00$, placé dans une fosse faite sur la lunette, et arrêté par des piquets de $2^m,00$.

Les deux cinquenelles étaient disposées en sens inverse, afin que l'arbre ne tournât point.

Sur l'autre rive, on n'avait pas élevé de potence, ni creusé de fosse, afin de ménager la prairie. Les cinquenelles étaient posées sur des traverses de $0^m,50$ de longueur, portées par de petits pilots de $0^m,15$ d'équarrissage, hauts de $1^m,30$ au-dessus du sol; puis elles s'enroulaient, comme du côté opposé, autour d'un corps d'arbre enterré seulement de son épaisseur.

Les oscillations horizontales étaient détruites, autant que possible, par deux croisières attachées aux deux cours de poutrelles, et tendues sur chaque rive avec des cabestans horizontaux.

Les ordonnées étaient calculées comme dans le pont fait sur la Seille, et il faut observer qu'il résulte de la disposition obligée du pont (à cause de la prairie) que la tension des cinquenelles au sommet de la potence était la même que s'il eût eu $76^{m},00$ de longueur, comme le représente la figure ponctuée.

Du côté de la prairie, la tension était moins forte puisqu'elle ne provenait que de la tension horizontale et du poids de la partie du pont comprise entre la rive et le point le plus bas de la courbe des cinquenelles : cela résulte de la proportion.

$$T : np :: m^{n-1} D : Dp^{n-1}.$$

Qui donne la tension en un point quelconque. Cette proportion peut aussi servir à déterminer quel était le poids maximum que le pont pût supporter. En effet, la force des cinquenelles employées à le construire étant de 11.000 kil.; admettons, afin de ne pas avoir à craindre les accidens, que la plus grande tension ne doive pas dépasser 6.000 kil. Comme au sommet de la potence $M^{n-1} D = 3^{m},33$, $Dp^{n-1} = 1^{m},441$, et que, d'après notre hypothèse, $T =$ 6.000 kil., le rapport ci-dessus devient :

$$6.000 \text{ kil.} : np :: 3^{m},33 : 1^{m},441.$$

D'où $np = \frac{1,441}{3,33} \times 6.000$ kil. $=$ 2.596 kil.

Il y a quatre cinquenelles; ainsi le poids maximum qu'elles pouvaient supporter, y compris celui du pont lui-même, était de 10.384 kil. (elles eussent rompu sous une charge de 17.160 kil.)

Le tablier avec les cordes pesait environ 5.000 k.; il restait à peu près autant pour les poids additionnels; donc le pont tel qu'il était aurait pu servir à l'artillerie, à la cavalerie et à l'infanterie sur un seul rang; d'ailleurs, s'il avait été destiné à un passage réel, rien ne se serait opposé à ce qu'on mît trois et même quatre cinquenelles de chaque côté, nous nous proposions seulement de chercher les moyens de jeter un pont d'une aussi grande portée.

Nous le construisîmes avec quatre sous-officiers et quatre-vingts hommes, dont dix exercés à faire des nœuds.

Ils étaient répartis de la manière suivante :

Trente hommes, sous la conduite d'un sous-officier, apportaient les matériaux du dépôt de l'École des ponts, trente autres divisés en deux brigades et deux sous-officiers, préparaient les culées, creusaient les fosses destinées à placer les corps d'arbres, amenaient ceux-ci, etc.

Enfin, une brigade de vingt hommes et un sous-officier, construisait la potence formée, comme le montre la figure, de quatre longerons de 14 à 15 mètres réunis par une traverse : ces pièces de bois, qui étaient seulement brélées solidement avec des cordes, n'ont pas cédé. Cette dernière brigade était aussi chargée de préparer le long de la rivière les deux cours de poutrelles longitudinales, et d'attacher les ordonnées à celles-ci et aux cinquenelles.

Quand ces différens travaux furent terminés, on apporta la potence, et après avoir engagé ses 4

pieds dans des trous de 0^m, 10 à 0^m, 15 de profondeur, on la posa à terre dans la direction qu'elle devait avoir; on disposa les cinquenelles après sa traverse, et on les arrêta autour du corps d'arbre placé sur la lunette, puis on fit passer dans une barque soixante hommes sur l'autre rive, qui, au moyen d'un cordage auxiliaire attaché au sommet de la potence, élevèrent celle-ci que les vingt hommes restés sur la rive de départ avaient commencé à dresser à l'épaule.

Quand elle fit un angle d'environ 15° avec la verticale, on l'arrêta dans cette position. Les cinquenelles, ainsi que les deux cours de longerons, furent mis en travers de la rivière, à l'aide d'amarres sur lesquelles on tirait de la prairie, et lorsqu'on eut placé les cinquenelles sur les traverses qui, de ce côté, remplaçaient la potence, et qu'elles furent enroulées autour du corps d'arbre sans les arrêter, on attacha après elles, en avant des pilots, des cordages plus minces qui servirent à les tendre successivement, puis on les amarra sur les corps d'arbres avec des commandes pour les empêcher de glisser.

La tension avait rendu la potence presque verticale ; les cinquenelles tendues, on fixa les deux cours de poutrelles aux culées, et on construisit le tablier.

Toute la durée du travail comprenant l'excavation des fosses, le transport des matériaux, la construction de la potence, etc., ne fut que de huit heures.

Nous ne nous étions pas servi de palans ; mais ensuite, lorsqu'il fallut jeter ce pont de nouveau, nous en employâmes deux paires, qu'on enlevait aussitôt que les cinquenelles étaient tendues ; alors il ne fallait plus que trente hommes au lieu de quatre-vingts.

Ce pont de cordages de 51 mètres de longueur est plus long de beaucoup que tous ceux qui ont été construits avant lui. Il a bien réussi et résout, à ce que nous espérons, le problème des ponts de cordages.

Il reste maintenant à les perfectionner et à leur donner plus de stabilité en cherchant à détruire complétement ces oscillations horizontales, qui rendent parfois le passage incommode.

Pl. X. Fig. 14. Nous avions eu l'intention d'essayer de substituer des pièces de bois ou des perches aux cinquenelles et aux ordonnées, afin de pouvoir réduire le nombre des cordes nécessaires pour la construction d'un pont suspendu, ce qui serait très-avantageux dans certaines circonstances ; mais n'étant plus à même de faire des expériences, nous nous bornons à indiquer cette modification, qui est applicable au pont de M. le général Treussart.

NOTICE

SUR

UN PONT-LEVIS A BASCULES MOUVANTES,

EXÉCUTÉ

DANS LA PLACE DE MONS, EN BELGIQUE,

D'APRÈS LE MÉCANISME IMAGINÉ

PAR M. LE LIEUT.-COLONEL P. BERGÈRE (V. le 3e. No. *du Mémorial*).

EXTRAITE DU COURS DE MACHINES FAIT A L'ÉCOLE D'APPLICATION A METZ,

Par M. PONCELET, Capitaine du Génie.

La propriété qu'a le point O de la barre BC du pont-levis de M. Delille, de demeurer constamment sur une même horizontale KL, a fourni à M. le lieutenant-colonel P. Bergère, auquel on doit une *Théorie analytique* très-simple et plusieurs remarques utiles sur les pont-levis à courbes, l'idée ingénieuse de supprimer entièrement ces courbes, en contraignant directement le point O à décrire l'horizontale KL dans le mouvement du système. Pl. XI. Fig. 6.

A cet effet, il fixe en ce point une petite roue dont l'axe traverse la barre, et qui roule sur un chemin de niveau, en fer, à mesure qu'on abaisse le contre-poids à terre au moyen de chaînes, ou en tirant horizontalement la roulette de manière à lever ou baisser le tablier : cette disposition, en elle-même fort simple, peut être avantageusement employée dans certaines circonstances et pour les petites communications. Nous l'avons vue, en 1825, appliquée avec quelques modifications heureuses, à l'un des ponts-levis des ouvrages avancés de la place de Mons, où il n'existait aucun pied-droit pour fixer le chemin horizontal KL. Comme ce dispositif est d'une exécution facile, et qu'il peut très-bien, dans tous les cas analogues et surtout dans les ouvrages de campagne, remplacer les autres ponts-levis connus, je crois utile d'en présenter ici une courte description; mais n'ayant pas eu la faculté d'en étudier les détails sur place, je tâcherai d'y suppléer de mon mieux, en me guidant d'après mes souvenirs.

La différence essentielle entre cette disposition et la précédente consiste en ce que la roue qui guide le point O dans son mouvement horizontal est beaucoup plus grande et se trouve remplacée véritablement par deux roues de voiture ordinaires, roulant sur des poutrelles ou un massif de maçonnerie, garnis de bandes de fer formant un peu saillie au-dessus du sol du passage. Chaque barre du pont se trouve ainsi soutenue en O par l'essieu commun au couple de roues qui lui correspond, ce

qui paraît indispensable pour assurer la stabilité de la manœuvre qui peut s'effectuer d'ailleurs très-avantageusement et très-commodément en agissant directement sur les roues pour les faire avancer ou reculer. Quant à la manière de fixer solidement le tablier à la position verticale, elle peut consister en deux forts verroux ou chaînes, accrochés et cadenassés contre deux poteaux convenablement enfoncés en terre; enfin les barres elles-mêmes peuvent être construites en fer, en fonte ou en bois, selon les circonstances, à peu près comme le sont les balanciers employés dans diverses machines qui doivent supporter, à leurs extrémités et au centre, des efforts plus ou moins grands; c'est-à-dire qu'il convient de les renfler dans le sens vertical vers leur point d'appui contre les essieux, de façon que, sous un même volume, ils présentent la plus grande résistance possible, ce qui leur assigne, comme on sait, la forme de deux paraboles très-alongées, dont les sommets correspondraient aux extrémités des barres.

Le dispositif dont il est question trouvant principalement son application en campagne, où il est impossible d'apporter beaucoup de soin aux constructions, et où l'on manque souvent même des matériaux nécessaires, nous avons cru intéressant de traiter ce cas dans la figure 6, Pl. XI, en supposant que les barres soient composées chacune de deux chevrons en chêne, de 10 à 12 centimètres d'équarrissage, reliées solidement par des frettes ou

des cordes, de distance en distance, mais principalement au centre et aux extrémités. On suppose qu'elles aient été écartées avec force, vers ce centre, au moyen de taquets de bois légèrement embrevés sur chaque pièce, et embrassant la partie carrée de l'essieu des roues, tandis que d'autres taquets maintiennent cet écartement vers le milieu de la distance de l'essieu aux extrémités des pièces; il est entendu d'ailleurs qu'indépendamment des frettes ou des cordes qui servent à lier ces extrémités, on aura soin de placer, dans leur joint de contact, quelques clefs qui rendent impossible le glissement dans le sens de la longueur. D'après les théories connues, un pareil assemblage aura une solidité plus que suffisante pour résister à des efforts verticaux de 900 kil. agissant aux points *B* et *C* des barres, ce qui excède de beaucoup ceux qu'elles auront à supporter dans les circonstances dont il s'agit ici. On remarquera enfin que les points d'attache du tablier sont formés par le prolongement d'essieux en fer traversant les chevrons de rives, aux points qu'indiquent les conditions d'équilibre du tablier pour le dispositif actuel de la manœuvre, et que les contrepoids *C*, au lieu d'être composés de rouleaux en fonte, peuvent l'être de bombes pleines ou de corps quelconques suspendus librement au-dessous du boulon qui fixe la position du centre de ce contrepoids.

NOTE

SUR

UN MOYEN PRATIQUE

DE

RÉGLER LES PONTS-LEVIS A FLÈCHE;

Par M. J.-J. LEBLANC, Capitaine du Génie.

Si l'on conçoit les systèmes supérieurs et inférieurs d'un pont-levis à flèche, réduits à leur centre de gravité c, c', figure 1re., cette machine pourra être considérée comme réduite à deux poids P, P' appliqués en c, c', et à cinq droites ca, ad, bb', $b'a'$, $a'c'$, avec des charnières en a, a', b, b', et de manière que les droites ad, ac d'une part, $b'a'$, $a'c'$ de l'autre, sont invariables entre elles : av, $a'v'$ indiquent la verticale. Planc. XI.

Pour que le pont, mis en équilibre dans la première position (celle de la fig. 1re.), reste en équilibre dans toutes les autres, on sait qu'il faut que la figure $aa'bb'$ soit un parallélogramme, et que les droites ac, $a'c'$ soient parallèles (1).

(1) Cette proposition a déjà été démontrée (entre autres par

blier pèse 6.000 kil. ; le système de la bascule et du contrepoids pesait 6.800 kil. ; il fallait quinze hommes pour le mettre en mouvement, et on l'arrêtait un peu quand le tablier approchait de la position verticale ; il fallait le retenir avec force quand on baissait le pont. Le contrepoids π était en pierre de taille du poids de 3.100 kil.

Pour première expérience, on fit ôter les pierres ; elles furent remplacées par des barres de fer d'échantillon, du poids de 3.700 kil ,qu'on rangea bien à leur place ; le centre de gravité du contrepoids π baissa de $0^m,12$, et le pont put se manœuvrer avec quatre hommes. Le mouvement devenait encore plus facile quand le pont approchait de la position verticale. On fit baisser de $0^m,12$ le plancher qui portait le contrepoids ; celui-ci fut augmenté de 140 kil. On parvint à un résultat inverse. Deux hommes mettaient le pont en mouvement ; il en fallait quatre pour achever de le lever ; on fit relever le contrepoids de $0^m,06$, et le mouvement devint égal dans toutes les positions. Soit qu'on baissât le pont ou qu'on le levât, il fallait pour cette manœuvre deux hommes vigoureux, ou deux hommes ordinaires et une femme préposée à la garde du pont. On marqua alors sur place la position du centre de gravité du système des barres de fer, ce qui était facile à cause de leur régularité. On les fit remplacer par des pierres de même poids, qu'on arrangea de manière qu'elles eussent le même centre de gravité Le pont fut de nouveau essayé ; on acheva de le régler avec

quelques morceaux de fonte, et la manœuvre se fit de même avec deux hommes forts ou trois hommes ordinaires. Les tourillons, et en général toutes les ferrures du pont, étaient mal travaillés. On pense que les frottemens devaient être considérables. Les ponts-levis ordinaires bien réglés, dont le tablier pèse 4.000 kil., se manœuvrant avec deux hommes, on crut qu'il fallait s'en tenir au résultat obtenu.

On remarqua que l'augmentation de poids du tablier dans les temps de pluie était telle, qu'il fallait alors au moins deux hommes de plus pour lever le pont que dans le temps de sécheresse. On a en conséquence donné au gardien quelques poids, qu'il ajoute ou enlève selon le temps, pour que la manœuvre puisse toujours se faire avec trois hommes.

NOTE

SUR

UNE LISSE MOBILE

ADAPTÉE

AU PONT-LEVIS

DU CHATEAU DE BELFORT.

Par M. DE L'ESTOILE, Capitaine du Génie.

M. le lieutenant général Haxo prescrivit, en 1827, d'adapter au pont-levis du château de Belfort, un garde-corps mobile qui suivît de lui-même le mouvement du tablier ; voici de quelle manière on y est parvenu :

De chaque côté du passage, et dans l'intervalle qui sépare horizontalement le bord du tablier de la chaîne, on a scellé deux consoles en fer A de la hauteur du garde-corps ; à l'extrémité *a* de chacune d'elles, s'attache, par une charnière, une tige *a b* qui va s'engager par le crochet *b*, sur le retour de

Planc. XII.

la lisse du pont dormant, laquelle est, à cet effet, percée d'un œil; la tige *a b* peut ainsi se mouvoir autour du point *a*, dans le plan de la console.

En arrière du crochet et en dedans du passage au point *c*, est suspendue une tringle *c d*, qui a pour objet de maintenir la lisse mobile dans sa position horizontale quand le pont est baissé, et de rendre son mouvement dépendant de celui du tablier, quand on vient à le lever. Cette tringle, formée de deux barres jumelles, est traversée, à son extrémité inférieure par une courte verge ou piton *d*, tenant au tablier, qui la dépasse d'une longueur égale à l'épaisseur de la lisse mobile, et se termine par un bouton à tête conique. Il est maintenant facile, en jetant un coup d'œil sur la figure (2), de suivre le mouvement du garde-corps; quand le tablier se lève, le piton, qui glisse d'abord dans la rainure de la tringle directrice, saisit par son extrémité la lisse mobile, la soulève de son point d'appui, l'entraîne dans son mouvement, et la renverse enfin contre le tableau de la porte.

Quand on baisse le pont, cette lisse est obligée, d'abord par la liaison qu'établit la tringle, puis par l'action de la pesanteur, à repasser dans un ordre inverse par les mêmes positions, jusqu'à ce qu'elle s'arrête sur la lisse dormante, à laquelle la tringle redevenant verticale, la fixe de nouveau.

La longueur de la console *a* est égale à la hauteur du garde-corps, afin que la lisse puisse se loger sous la porte.

L'assemblage en *a* est par enfourchement, et le mouvement s'exécute autour d'un boulon rivé. Comme la tringle est plus exposée au choc des voitures, on n'a point rivé le boulon qui sert à la suspendre, mais afin qu'il ne puisse tourner, on a donné à la partie qui pénètre la lisse une forme elliptique.

Le piton *d* est attaché par quatre vis à bois sur un tasseau de chêne entaillé pour recevoir ses ailes; ce tasseau est assujetti à fleur du tablier par deux boulons qui le traversent; de cette façon, la tringle peut se démonter sans peine, en cas de dégradation.

Pour diminuer les frottemens, on a recouvert la tige du piton de deux roulettes de cuivre, séparées par une rondelle de même métal; une rondelle semblable est placée en *C* entre la lisse et la tringle.

Le succès de la manœuvre exige que la lisse mobile se meuve dans un plan exactement vertical, passant par la console et le centre de l'œil; il convient donc de s'assurer que les arêtes du tablier sont bien perpendiculaires à l'axe des tourillons et de disposer la lisse mobile parallèlement à ces arêtes.

Ce garde-corps exécuté avec les dimensions indiquées par la fig., a coûté à Belfort 220 fr., il a été appliqué à un pont-levis à la Poncelet, sans qu'il ait été nécessaire de recharger la chaîne à masselottes, l'effet de son addition n'ayant pas été sensible; du reste, il s'appliquerait aussi aisément à tout autre espèce de pont; il suffit, dans le cas où la chaîne est en de-

hors du tablier, qu'elle en soit éloignée d'une distance égale aux épaisseurs réunies de la lisse et de la tringle. Si elle est en dedans, comme dans la plupart des anciens ponts à flèches, il n'y a plus aucune difficulté, et l'on peut donner à la lisse mobile et à la tringle pendante une épaisseur quelconque.

La figure 1re. montre la disposition générale de la lisse mobile.

La figure 2e. fait voir le système formé par la console, la lisse et la tringle. On a ponctué la position que prennent les deux dernières au moment où la lisse mobile commence à s'élever.

La figure 3 indique la place de la tringle entre la chaîne et le tablier.

Les figures 4 et 5 retracent les détails du piton *d* et de sa platine, du crochet *b* et de l'œil qui le reçoit.

MÉMOIRE

SUR L'EMPLOI

DES MACHINES A VAPEUR

POUR

LES MANŒUVRES D'EAU

ET LES TRAVAUX DES PLACES.

Par M. BELMAS, Capitaine du Génie; Aide-de-Camp de M. le Lieutenant-Général ROGNIAT.

On sait que la fortification emprunte des eaux ses moyens les plus puissans de résistance; en barrant une rivière, un ruisseau, tantôt on forme une inondation qui rend inaccessible un ou plusieurs fronts, on se couvre d'un terrain marécageux et imbibé d'eau au travers duquel l'ennemi ne peut conduire ses travaux d'attaque qu'avec de grandes difficultés et une extrême lenteur; tantôt on pratique dans les bas-fonds des flaques à l'abri desquelles on place des ouvrages avancés destinés à

prendre des revers avantageux sur les points d'attaque; tantôt, à l'aide de portes tournantes, on se ménage le moyen de lâcher tout-à-coup une grande masse d'eau dans les fossés, torrent momentané qui entraîne les travaux de l'ennemi et oppose au passage du fossé un obstacle presque insurmontable : quelquefois enfin on supplée aux revêtemens par des fossés pleins d'eau; et, lors même qu'un ouvrage est revêtu, si on peut remplir son fossé d'eau à la dernière période du siége, on en retarde la prise de plusieurs jours (1).

Malheureusement l'emploi des eaux comme moyen de défense a été jusqu'à présent fort borné; on s'est contenté de faire usage de la pente naturelle des eaux, au moyen d'un barrage, pour former des inondations et remplir des fossés dans quelques terrains bas et marécageux, et l'on a trouvé impossible de se servir de ce puissant moyen sur les points bien plus nombreux qui sont élevés au-dessus du ni-

---

(1) Ce n'est qu'avec la plus grande difficulté que l'on parvient à passer un fossé plein d'eau, s'il est bien défendu; et, cet obstacle serait presque infranchissable si les défenseurs pouvaient conserver jusqu'au dernier moment quelques pièces d'artillerie qui eussent action sur les travaux. Plusieurs essais tentés à ce sujet, ces dernières années, dans les écoles du génie, ont confirmé dans l'idée que l'on avait déjà de la valeur de ce genre d'obstacle. Les fossés pleins d'eau ont cependant l'inconvénient de rendre très-difficiles les communications du corps de place aux ouvrages extérieurs; c'est pourquoi les fossés secs, ou pleins d'eau à volonté, sont regardés comme les meilleurs.

veau des eaux. L'établissement d'un barrage sur un cours d'eau est d'ailleurs une opération difficile, très-hasardeuse et souvent même impraticable; ainsi on ne tenterait point de barrer un fleuve large et profond, une rivière torrentueuse, sujette à des crues subites, d'un fond vaseux ou de sable mouvant : un barrage serait de nul effet sur un ruisseau trop encaissé, ou dont le débit ne suffirait pas à la dépense d'un bassin d'une trop grande étendue; il ne pourrait également servir à élever les eaux de la mer au-dessus de leur niveau : enfin lors même que la construction du barrage serait possible, il faudrait le soustraire aux attaques de l'ennemi, condition qui en restreint encore l'emploi.

Il résulte de là que les manœuvres d'eau, quoique considérées avec raison comme un des meilleurs moyens de défense des places (1), ne peuvent être

---

(1) « On sait, » dit Carnot en parlant des manœuvres d'eau, « que » souvent elles procurent des moyens de défense supérieurs à tous » ceux que l'on pourrait tirer de la plus grande perfection dans » le système de fortifications proprement dites; c'est la partie scien- » tifique de l'art de l'ingénieur. »

« L'ingénieur, » dit Bousmard, « qui aura pu faire servir les ma- » nœuvres d'eau à la défense d'une place, pourra se flatter » d'avoir procuré à cette place le moyen non-seulement le plus » sûr, et peut-être le plus puissant d'ajouter à sa force; mais » encore celui de tous qui bien certainement économise le plus » la dépense et les hommes. »

« Ce qui intéresse dans les manœuvres d'eau, » dit Darçon, « c'est la propriété dont elles jouissent d'éloigner et de retarder

employées qu'assez rarement, avec le concours de plusieurs circonstances favorables, et que, dans la plupart des places, la masse d'eau qui les baigne, souvent considérable et capable des plus grands effets, se trouve entièrement perdue pour la défense.

Avec plus d'industrie on peut en profiter; par elle ces masses d'eau peuvent être soulevées à toute hauteur et être déversées sur le terrain des attaques pour y former des inondations, des flaques, remplir des fossés, donner des chasses, etc.; elles peuvent aussi être projetées sur tous les points où une pente continue les empêcherait d'atteindre, et servir alors à noyer les travaux d'attaque tels que tranchées, batteries, entonnoirs de mine; et que pourrait tenter l'assiégeant sous l'action de masses d'eau considérables ainsi mises en jeu contre lui? Ce n'est qu'en remuant de la terre qu'il peut approcher de la place pour forcer les défenseurs, et ce seul bouclier lui est enlevé dès qu'il veut s'en couvrir.

L'industrie crée les places, c'est elle aussi qui les défend; elle seule permet de résoudre ce problème si important, *défendre les places avec le moins d'hommes possible, afin de ne pas affaiblir les ar-*

» les progrès des attaques par des procédés conservateurs; car il » n'en coûte personne pour faire abandonner par une inondation » telle attaque qui de part et d'autre aurait coûté peut-être quinze » mille hommes, en efforts meurtriers et souvent infructueux. »

mées actives seules capables de porter des coups décisifs. Attachons-nous donc à perfectionner cette industrie: donnons-lui plus d'essor, agrandissons ses moyens. Jusqu'ici elle est restée à peu près la même pour la défense comme pour l'attaque; mêmes armes, mêmes moyens de se couvrir, mêmes genres de chicanes dans les deux cas, et aucune machine de guerre, aucun moyen particulier de résistance n'a pu encore résulter exclusivement pour les défenseurs de la position fixe et stable qu'ils occupent, et préparée si long-temps à l'avance; l'art des mines, qui semblait d'abord être tout entier pour eux, s'est ensuite tourné contre, depuis la découverte du globe de compression; enfin le tir à ricochet est tout entier à l'avantage des attaquans.

Il n'en est pas de même des manœuvres d'eau; les travaux qu'il faut développer pour les obtenir, les mettent au-dessus des efforts que peut tenter l'assiégeant; et, de quel secours lui seraient-elles d'ailleurs contre des remparts solides que le canon et la mine peuvent seuls ébranler? Cette arme si efficace pour la défense a donc l'avantage de ne pouvoir tourner contre elle en devenant utile aussi à l'attaque, elle est d'ailleurs capable des effets les plus grands et les plus décisifs; profitons donc de circonstances aussi favorables; que dans toutes les places où il se trouve des eaux, elles soient utilisées avec toute leur puissance, et elles deviendront pour les défenseurs le meilleur auxiliaire qu'ils puissent avoir.

Mais ce serait trop peu d'indiquer de quelles ressources peuvent être les eaux pour la défense des places, si nous n'avions cherché surtout à assurer les moyens de les mettre en jeu ; c'est là que réside la difficulté, c'est de là aussi que dépend tout le succès : quelque grande en effet que puisse paraître une idée au premier abord, s'il n'existe aucun moyen de la mettre à exécution, ou si même les moyens existans ne sont ni suffisans ni convenables, cette idée ne serait plus qu'un rêve inutile.

Tel est à peu près le sort de celle qui nous occupe : les avantages qui peuvent résulter de l'action des eaux se présentent en effet trop naturellement à l'esprit pour qu'ils n'aient pas encore été entrevus. En 1743, M. de Commeaux, ancien capitaine de cavalerie, dans un mémoire sur la défense des places adressé au marquis d'Argenson, ministre de la guerre, indiqua l'usage des pompes à incendie pour lancer de l'eau sur les têtes de sape, et dans les tranchées de l'assiégeant, afin d'empêcher ses cheminemens et lui interdire l'usage de ses armes : il pensait aussi que ce même moyen serait encore très-efficace pour entraîner les terres des brèches au moment d'un assaut, et faire sous les pas des assaillans un cloaque infranchissable.

En 1784, M de la Jomarière, capitaine du génie, eut la même idée ; il voulut aussi par les mêmes moyens, imbiber tellement les terres des glacis, en faisant circuler l'eau dans une foule de conduits en poterie, divisés par rayons au-dessous de la surface

du sol, que l'ennemi ne pût creuser ses tranchées sans trouver une boue liquide dont il ne pourrait former ses parapets. Des expériences eurent lieu à Strasbourg sur ces diverses manières d'employer l'eau, et elles ne furent pas sans succès; mais la faiblesse des moyens employés les fit tomber dans le ridicule; quelques plaisanteries prévalurent, et le germe d'une idée qui pouvait devenir féconde pour la défense se trouva ainsi étouffé.

Plusieurs ingénieurs cependant en furent frappés; Darçon, sans adopter la projection de l'eau sur les tranchées, estimant que pour la défense d'un front il faudrait 100 pompes et plus de 1500 hommes, crut cependant qu'il y aurait quelque avantage à employer l'eau par expansion sur les glacis; il proposa de l'élever d'abord dans un château d'eau par des machines hydrauliques, telles que des norias mues par un tournant de moulin ou un manège, de la conduire de là par des tuyaux en fonte dans une rigole magistrale sur la crête du chemin couvert, et de la déverser ensuite par une multitude de petits canaux d'irrigation sur le terrain des attaques, de manière à imbiber tellement le terrain qu'il fût impossible à l'ennemi d'y ouvrir des tranchées. Il indiqua même pour cet usage l'emploi des machines à vapeur; mais la machine de Chaillot qu'on venait de construire, était alors le chef-d'œuvre de la mécanique; or il suffit d'éprouver les secousses terribles de cette machine, d'apprécier son volume immense et la complication de ses pièces pour renoncer à

toute application qu'on voudrait en faire à la défense des places. Que d'inconvéniens d'ailleurs d'élever un château d'eau au centre d'une place, en prise à tous les projectiles de l'ennemi ; quel développement immense de tuyaux de conduite pour puiser l'eau et la distribuer ensuite sur tous les points ; que de travaux pour placer tous ces tuyaux à travers les massifs des maisons de la ville, et surmonter tous les autres obstacles que l'on pourrait rencontrer !... (1)

Carnot pensait aussi qu'on pouvait retirer quelque avantage du jet des eaux contre les travaux d'attaque, et il rappelle, dans son ouvrage sur la défense

---

(1) Le même château d'eau devait encore alimenter les fontaines de la ville, et faire mouvoir des moulins pour les besoins de la garnison et des habitans.

« On a employé, dit Darçon, la pompe à feu à former des magasins d'eau élevés, d'où l'on s'est procuré les chutes nécessaires au mouvement de plusieurs tournans de moulins.

» Cette opération a été exécutée à Nîmes, et a eu tout le succès » qu'on avait lieu d'en attendre. Je vois d'après le calcul des produits qu'en élevant le château d'eau à la hauteur médiocre de » 40 pieds, on aurait un débit de 4 pieds cubes d'eau par seconde ; ainsi en employant des roues à godets, au lieu des roues » à cubes, pour économiser la consommation de l'eau, et réservant d'ailleurs 10 pieds de chute pour chaque tournant, on » pourrait établir 4 coursiers à 4 étages de tournans chacun, ce » qui ferait 16 tournans mis en mouvement par une seule pompe » a feu, et sans aucun chômage. »

Ce projet peut donner une idée de l'état d'imperfection où se trouvait encore la mécanique du temps de Darçon.

des places, les expériences faites à Strasbourg par M. de la Jomarière, avec une pompe à incendie.

« Ces expériences, dit-il, ont parfaitement réussi, » à la grande confusion des faiseurs de sarcasmes. » Les sapeurs ne purent jamais remplir leurs gabions; la terre fut dans l'instant convertie en boue » liquide qu'ils délayaient avec leurs pieds, et dont » il leur fut impossible de faire un épaulement. Ce- » pendant on n'a pas donné suite à ce résultat; ce » qui prouve qu'il ne suffit pas toujours d'avoir pour » soi l'expérience, la raison et même l'intérêt de l'é- » tat; la force de l'inertie l'emporte sur tout cela. » Peut-être, dans un siècle ou deux, une circon- » stance extraordinaire fera-t-elle apercevoir que » cette idée pouvait servir à quelque chose. »

Enfin, en 1813, Napoléon même, prévoyant l'utilité qu'on pouvait retirer des machines à vapeur pour remplir d'eau les fossés d'une place, et former des inondations, prescrivit dans une note au colonel du génie Bernard, son aide-de-camp, de consulter le comité des fortifications sur cette question : il supposait qu'il existait des machines à vapeur mobiles, et insistait sur leur utilité. Cette idée était prématurée : l'ancienne et lourde machine de Watt était encore le type des machines à vapeur en France. M. le lieutenant-colonel du génie Allent, dans un projet de rapport préparé pour être soumis au comité, proposa de faire quelques expériences avec une machine semblable, en écartant d'ailleurs l'idée des machines mobiles comme inexécutables par la construction fixe et stable du

fourneau et de la cheminée, le poids de la chaudière, du cylindre, et de toutes les autres pièces accessoires : il n'existait que quelques petites machines de la force de trois ou quatre hommes, que leur exiguïté permettait de déplacer, et on les considérait plutôt comme des modèles que comme des machines susceptibles d'être employées avec avantage. Les événemens de 1814 firent oublier cette affaire.

Au degré de perfection où est arrivée la mécanique, ce qu'on regardait autrefois comme impossible peut facilement se réaliser maintenant. Les machines à vapeur, extrêmement améliorées dans ces derniers temps, sont devenues le moteur universel susceptible d'être appliqué à tous les usages, à tous les besoins : elles présentent aujourd'hui de si grandes ressources pour la défense des places en particulier, qu'il serait impardonnable de ne pas en profiter. Il n'y a jamais assez de bras dans une place au moment d'un siége ; c'est un moyen admirable d'y suppléer.

Mais pour mieux faire connaître toutes les ressources qu'offrent maintenant les machines à vapeur, jetons un coup d'œil rapide sur les principaux perfectionnemens qu'elles ont déjà éprouvés.

C'est de 1699 que datent les premiers services utiles qu'on ait retirés de l'emploi de la vapeur comme force motrice (1). Le capitaine anglais Sa-

(1) Salomon de Caus en 1615, et Papin en 1690, avaient déjà fait connaître les moyens d'employer la vapeur comme force motrice.

very fit connaître à cette époque une machine propre à élever de l'eau, dans laquelle la vapeur, produisant le vide dans un récipient par une injection d'eau froide, et agissant ensuite par sa force élastique, faisait monter l'eau d'un puits dans un réservoir supérieur. L'usage de cette machine se répandit bientôt en Angleterre; mais la condensation rapide qui a lieu lorsque la vapeur douée d'une grande force élastique est mise en contact immédiat avec de l'eau froide, était un obstacle insurmontable pour élever l'eau, au moyen de cette machine, à plus de 90 pieds de hauteur.

En 1705, Newcomen, par l'addition d'un piston, parvint à résoudre cette difficulté. Dans sa machine, la vapeur était employée d'abord à faire monter le piston dans un corps de pompe; en faisant le vide au-dessous par une injection d'eau froide, la pression de l'air le faisait ensuite descendre. On obtint ainsi un mouvement alternatif qu'on put transmettre au moyen d'un balancier, ou levier mouvant sur son centre, à des pompes à eau, ou pour exécuter toute autre espèce de travail. Cette machine, dite *atmosphérique*, parce que la vapeur n'était employée que comme intermédiaire pour faire le vide, et mettre en jeu la pression de l'atmosphère, parut au moment où l'exploitation de presque toutes les mines de l'Angleterre allait s'arrêter à défaut de machines plus puissantes; aussi son usage devint-il bientôt général et rendit les plus grands services. Mais cette machine, comme celle de Savery, exi-

geait la présence d'un ouvrier pour ouvrir et fermer les robinets d'admission de la vapeur et de l'eau de condensation. En 1717, Brighton inventa le *régulateur,* qui, étant mis en mouvement par le balancier, suppléait à la main de l'homme. D'autres améliorations succédèrent à celle-là : Smeaton surtout, porta peut-être cette machine au plus haut degré de perfection dont son principe était susceptible.

Dès l'année 1764, Watt avait commencé ses premiers essais pour le perfectionnement des machines à vapeur. Il employa la vapeur directement sans l'atmosphère, et eut l'heureuse idée d'opérer la condensation hors du cylindre moteur : il évita ainsi la perte de vapeur causée par le refroidissement de ce cylindre, qui était trois à quatre fois plus grande que celle employée comme force motrice. Plusieurs machines construites sur ce principe réussirent très-bien ; mais il eut surtout le bonheur de rencontrer, pour le seconder, un mécanicien remarquable, Boulton, avec lequel il s'associa, et qui ne contribua pas peu au succès qu'obtinrent par la suite ses machines.

C'est dans ce premier état que se trouvait la machine de Watt, lorsqu'en 1780 M. Perrier l'importa en France, où la machine de Newcomen, telle qu'elle est décrite par Bélidor, était encore ce qu'on connaissait de plus parfait. Il fit exécuter sur le nouveau principe les machines actuelles de Chaillot et du Gros-Caillou, et plusieurs autres pour les mines d'Anzin.

Cependant Watt continuait ses améliorations. En 1781 et 1782, il appliqua à la machine à vapeur l'usage du volant qui, au moyen de la bielle, transforme par un mécanisme aussi simple qu'ingénieux le mouvement de va et vient du piston moteur et du balancier, en mouvement circulaire continu; il rendit ainsi la machine à vapeur applicable aux moulins, aux usines et aux manufactures (1).

---

(1) La première application que Watt fit de ses machines fut dans la brasserie de Wedbreg de Londres, pour remplacer un manége destiné à monter de l'eau. Le brasseur voulut que la machine à vapeur produisît le même effet que ses chevaux; et, pour ne pas être trompé, il proposa à Watt de faire travailler un cheval pendant une journée entière, d'évaluer la quantité d'eau élevée à la fin de cette journée et de baser la force du cheval de vapeur sur ce produit. L'expérience fut convenue, le brasseur prit alors son meilleur cheval, et les chevaux de brasseur, surtout à Londres, sont renommés pour leur force, il le fit travailler huit heures, en n'épargnant pas les coups de fouet pour avoir un bon produit, s'embarrassant peu que son cheval pût soutenir plusieurs jours de suite un tel travail. Ce produit, mesuré et réduit à l'unité de poids et de hauteur, se trouva être, en mesures françaises, de 2120 mètres cubes à un mètre de haut, ce qui revient à 265 mètres cubes à la même hauteur dans une heure, ou à 28.000 livres ou 400 pieds cubes d'eau à 1 pied de haut dans une minute Or d'après des expériences authentiques, faites postérieurement en France aux mines d'Anzin, sur le travail de 250 chevaux employés pendant un an à faire mouvoir une machine à molette très-simple, on a trouvé que le travail effectif d'un cheval ordinaire, pendant huit heures, ou sa journée entière, n'était que de 800 mètres cubes élevés à 1 mètre de haut, résultat près de trois fois moindre que le précédent. Cependant Watt, plein de confiance dans sa machine, et

Il inventa ensuite le double effet, qui permit de supprimer le contrepoids qu'on était obligé d'apposer au piston moteur pour le jeu du volant, et diminua ainsi les masses à mouvoir dont on ne saurait trop réduire la quantité dans les machines à mouvement alternatif. Les chaudières purent être moins grandes, l'émission de la vapeur étant continue. Les dimensions du piston à vapeur et de toutes les pièces de la machine se trouvèrent réduites de moitié. Quelques années après, il appliqua ces perfectionnemens aux fameux moulins d'Albion à Londres, sur la Tamise, et c'est de ce moment que date la prospérité de l'industrie anglaise. Vers la même époque, trouvant que les doubles chaînes tangentes à l'arc décrit par le balancier, ou le mouvement d'un râteau qui engraine un arc de cercle denté, étaient peu convenables pour conserver au piston moteur un mouvement toujours vertical, il imagina et appliqua le procédé qu'on a désigné depuis sous le nom de *parallélogramme*, l'une des inventions les plus ingénieuses et les plus remarquables qui aient jamais paru en mécanique.

---

prévoyant les bénéfices énormes qu'il pouvait en retirer, se soumit à cette condition, quelque dure qu'elle fût, et c'est sur ce taux qu'est restée basée depuis la force du cheval de vapeur; aussi n'a-t-on pas eu de peine en Angleterre à remplacer les chevaux vivans par des chevaux de vapeur.

La machine qui a servi à l'expérience de Watt existe encore, on la respecte, elle porte un écriteau qui indique son origine.

Pendant que Watt parcourait avec succès la brillante carrière qu'il s'était ouverte, nous restions à peu près stationnaires au point d'où il était parti. Nous n'eûmes connaissance de ses perfectionnemens que sur de simples indications : en 1788, M. de Bettancourt, visitant l'Angleterre, devina le mécanisme du double effet, et quelques-unes des autres idées de Watt, en voyant jouer ses machines, quoiqu'on lui eût caché les détails intérieurs ; et c'est d'après ce qu'il put recueillir ainsi, que M. Perrier fit exécuter une machine à double effet pour faire mouvoir des moulins à blé établis dans l'île des Cygnes. Cette tentative, qui promettait d'abord quelques chances de succès, échoua complètement, quoique, reprise presque partout ces dernières années, elle ait offert les plus grands avantages.

Nous restâmes long-temps en arrière : en 1802, l'Américain Fulton, voulant appliquer la vapeur à la navigation, vint à Paris dans l'espoir de faire adopter son projet pour la flottille qu'on préparait pour tenter une descente en Angleterre. Il fit quelques essais ; mais n'ayant trouvé en France ni machines, ni ressources d'aucun genre pour l'exécution de ses idées, elles furent regardées comme chimériques, et on les repoussa : Fulton tourna alors ses vues vers sa jeune patrie ; il passa en Angleterre, où il fit exécuter par Watt et Boulton une machine à vapeur de vingt chevaux, la fit transporter en Amérique, et l'établit sur le premier bateau à vapeur qu'il construisit à New-York en 1807. Ses suc-

cès surpassèrent les espérances les plus hardies, et c'est de ce moment que date la naissance du nouveau système de navigation dont nous commençons, seulement depuis un petit nombre d'années, à profiter.

En 1811, l'ancienne machine de Marly tombait de vétusté; M. Perrier proposa de la remplacer par une machine à vapeur, en creusant dans le flanc de la montagne de Marly une galerie horizontale dirigée vers la Seine, et terminée à son extrémité par un puits vertical, afin que la machine placée au sommet de ce puits pût en extraire l'eau, comme dans les mines, au moyen d'un équipage de pompes mises en mouvement par une tringle verticale fixée à l'extrémité du balancier de la machine. Ce projet gigantesque était estimé 6 à 7 millions, et demandait cinq années de travaux. Il fut approuvé, et reçut même un commencement d'exécution: heureusement que plusieurs difficultés provenant de la mauvaise qualité du sol le firent abandonner, et mainténant une machine à vapeur de Watt, dernier système, d'une force de soixante chevaux, établie au bord même de la rivière, fait arriver l'eau d'un seul jet jusqu'au sommet de la montagne, dans une conduite placée à la surface du sol.

Enfin, jusqu'à l'époque de la restauration, nous ne connûmes bien que l'ancienne et lourde machine de Watt, et c'était encore la seule que décrivait M. Hachette dans son Traité de Machines de 1811 (1).

(1) « Quelque imparfait que fût cet ouvrage, dit l'avant-propos

Elle rendit cependant les plus grands services dans les mines d'Anzin, pour monter l'eau et le charbon, et remplacer un nombre considérable de chevaux employés d'abord à ce travail. On s'en servit aussi dans quelques usines, et pour les épuisemens dans les grands travaux des ports de Cherbourg, de Flessingue, et des fortifications de Wesel.

Si malgré ces applications les machines à vapeur sont restées chez nous si long-temps imparfaites, rendons cependant hommage à l'activité et au zèle de M. Perrier : ce fut lui qui créa en France cette branche d'industrie ; avant lui il n'existait que quelques anciennes machines de Newcomen importées d'Angleterre, et sans aucun moyen d'en construire d'autres. Non-seulement il fit connaître les premières machines de Watt, mais il apporta d'Angleterre tous les moyens de les exécuter. Il ne trouva en France aucune fonderie pour couler les cylindres ; la construction des fourneaux à réverbère, qui permettent de couler de grandes pièces, et l'art de mouler en sable d'étuve, y étaient inconnus ; aucune machine à aléser les cylindres, aucun tour n'existaient : il

---

» de la nouvelle édition de 1819, il eut au moins le mérite de » fixer l'attention des personnes chargées d'exécuter ou de diriger » les machines, *et de répandre en France le goût d'une science qui » n'était alors cultivée que chez nos voisins.* »

Au lieu de ce seul ouvrage, ce serait peut-être trop peu d'en compter maintenant une douzaine qui traitent spécialement des machines à vapeur.

Cependant, jusqu'à l'époque de la restauration, ces trésors d'industrie nous étaient restés cachés, ou ne nous étaient parvenus que par les annonces des brevets d'invention, ou des descriptions de journaux, trop incomplètes pour qu'on pût s'y fier (1).

---

pable des effets les plus étonnans; il suffit pour s'en convaincre de visiter quelques manufactures, on y verra les travaux les plus minutieux, les plus délicats, exécutés par les machines avec une précision et une adresse inconcevables. L'emploi du vent et de l'eau comme moteurs a été aussi beaucoup amélioré; on admire maintenant en Flandre les beaux moulins à vent construits en fonte, pour écraser les plantes oléagineuses; ceux dits à l'anglaise pour la mouture des grains; les roues hydrauliques en fer, et mille autres inventions, parmi lesquelles on doit surtout distinguer les nouvelles machines à colonne d'eau de M. Reichembach; l'emploi qu'on en a fait dans les machines de Reichenhal en Bavière, mérite d'être cité; ces machines tirent l'eau des puits salés et la conduisent jusqu'à Rosenheim, où le combustible est assez abondant pour faire l'évaporation : la distance à parcourir est de 21 lieues, à travers de hautes montagnes; onze machines distribuées en autant de relais sur cette distance, reprennent l'eau de l'une à l'autre, et la conduisent jusqu'au point d'arrivée. Dans ce trajet, l'eau est élevée quelquefois d'un seul jet jusqu'à une hauteur de 400 pieds au-dessus du point d'où elle est puisée. Les torrens qui font mouvoir ces machines ont dans ces pays de montagnes jusqu'à 140 pieds de chute, et agissent sur un piston à la manière de la vapeur.

(1) « C'est en vain, disait M. Gengembre à la société d'encou» ragement, qu'on tenterait l'usage des machines dont ce peuple » jaloux de son industrie publie les descriptions; les parties es» sentielles du mécanisme y sont toujours tronquées, et il serait » impossible de construire d'après les gravures qui les accom» pagnent. »

Enfin, en 1814, à la libre communication des deux pays, nous pûmes mesurer toute l'étendue de la carrière parcourue par nos voisins; nos savans, nos artistes, nos manufacturiers, coururent en foule admirer ce spectacle; les journaux retentirent des merveilles opérées par les machines à vapeur (1); l'impulsion fut alors donnée en France à l'industrie, et tous les jours encore se forment des entreprises de tout genre, basées sur l'emploi des machines à vapeur. Les premières machines nous vinrent d'Angleterre; d'autres furent construites en France par des mécaniciens anglais qui vinrent s'y établir; des Français les imitèrent, et maintenant enfin nous commençons à nous affranchir des secours de l'étranger.

---

(1) Lors de l'érection de la statue de Watt, les ministres anglais ont déclaré au parlement d'Angleterre que cet homme célèbre avait créé assez de richesses pour subvenir aux frais de la guerre continentale, et que ce serait encore lui qui permettrait à l'Angleterre de payer sa dette. On a évalué en effet à 20.000 machines à vapeur d'une force moyenne de 10 chevaux, celles qui sont en activité dans les trois royaumes. Or, en supposant qu'elles ne travaillent que 12 à 15 heures par jour, auquel cas, le cheval de vapeur, au lieu de représenter 9 chevaux vivans, n'en représenterait que 5, les 20.000 machines de 10 chevaux de vapeur équivaudraient donc à un million de chevaux vivans, ou à sept millions d'hommes; en mettant seulement à quatre francs la journée du cheval ordinaire, pour 300 cents jours de l'année, déduction faite des fêtes, il en résulterait un produit annuel de 1.200 millions, ce qui représente un capital de 24 milliards.

C'est donc aussi le moment de chercher à utiliser les machines à vapeur pour la défense des places. En les employant surtout à élever de l'eau, suivant leur première destination, elles offrent les plus grandes ressources; elles ont en effet profité, pour ce seul usage, de toutes les améliorations résultant des nombreuses applications qui en ont été faites. Pour les apprécier, il suffit de jeter les yeux sur le tableau suivant, où sont comparés les effets dont 1 kilog. de charbon est devenu successivement capable pour élever un certain volume d'eau (1).

---

(1) Les principales données de ce tableau sont extraites des rapports mensuels publiés en Angleterre, sur le travail des machines du comté de Cornouailles qui sont les plus renommées. Une espèce de lutte s'établit dans ce pays entre les propriétaires des machines; des commissaires sont nommés de part et d'autre, pour connaître celles qui donnent le meilleur produit; des prix sont ensuite distribués au vainqueur. Le parlement d'Angleterre prend lui-même beaucoup d'intérêt à ces questions.

Tableau comparatif de l'effet des machines à vapeur depuis leur origine.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	VOLUME D'EAU ÉLEVÉ PAR 1 kil. DE CHARBON.	*OBSERVATIONS.*
Savery.	5 à 7 mètres cubes à 1 mètre de haut	
Newcomen.	18.	
Watt, ancien système telle que celle de Chaillot.	20 à 22.	
Idem, perfectionnée jusqu'en 1811, pour les petites et moyennes machines.	53 à 67.	
Idem, en 1825, avec détente, et pour les grandes machines. . .	104 à 115 jusqu'à 162.	
Woolf, à double cylindre, pour la detente, dans l'état actuel, pour les petites et moyennes machines.	73.	
Idem, pour les grandes.	160 et jusqu'à 195.	
Watt, avec de nouveaux perfectionnemens et une très-grande détente, dans l'état actuel, pour les grandes machines.	267 à 280.	La machine à vapeur le Wilson a même dépassé ces résultats en élevant jusqu'à 298 mètres cubes.

On sera sans doute frappé de cette amélioration progressive des machines à vapeur; les résultats qu'elles présentent maintenant sont tels, que dans beaucoup de localités, on peut substituer avec avantage les machines à vapeur, pour élever de l'eau, aux barrages, aquéducs, et dérivations employées jusqu'ici pour alimenter les canaux de navigation et fournir aux besoins des villes les plus considérables (1).

---

(1) La seule ville de Londres renferme maintenant 17 machines à vapeur, d'une force totale d'environ 500 chevaux, qui élèvent l'eau nécessaire à cette capitale, aux besoins de laquelle la dérivation de la Lea, exécutée long-temps avant la découverte des machines à vapeur, ne pouvait suffire : dans le même pays, plusieurs canaux, entre autres celui de Birmingham, sont alimentés par le même moyen. Au canal d'Antoing, en Belgique, près de Condé, une machine à vapeur de 60 chevaux élève l'eau de la Haine à une hauteur de 10 mètres jusqu'au point de partage, et fournit ainsi à la dépense de ce canal.

En France, M. Minard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a prouvé que le canal de Saint-Quentin qui chôme les trois quarts de l'année, n'étant alimenté que par l'Escaut, au moyen d'une rigole de six lieues, d'un point où cette rivière ne fournit pas assez d'eau, pourrait être sauvé d'une perte totale par une machine de 12 chevaux, placée à Bonavis, où l'Escaut commence à être assez abondant.

M. Clément-Désormes, en supposant seulement 100 mètres cubes d'eau élevés à un mètre de haut par 1 kil. de charbon, a calculé qu'au lieu de construire le canal de l'Ourcq, de vingt-cinq lieues de long et qui a coûté plus de vingt-cinq millions, pour alimenter le bassin de la Villette, point de partage des canaux Saint Denis et Saint-Martin, il y aurait une économie de 43 p. $\frac{0}{0}$ à élever directement l'eau de la Seine par des machines

C'est avec de tels moyens que nous voulons mettre l'eau en jeu dans la défense des places ; mais il est temps d'entrer dans le détail de nos idées sur ce sujet.

§ Ier.

PROJET D'UNE MACHINE A VAPEUR MILITAIRE.

Les machines à vapeur, telles qu'elles sont en usage dans les manufactures et les usines, sont presque immobiles ; il faut plus d'un mois pour les changer de place ; or les besoins de la défense peuvent exiger leur prompt déplacement pour les faire agir, tantôt sur un point, tantôt sur un autre. Le front d'attaque d'une place est en effet rarement prévu à l'avance, et la marche de l'ennemi peut être assez rapide pour que les machines à vapeur ne puissent être prêtes à fonctionner au moment convenable et pendant un temps suffisamment long : quelquefois les eaux seront fort éloignées du point où elles devront être mises en jeu ; et, avant de les

---

à vapeur. Le même canal doit encore fournir des eaux à Paris et faire mouvoir 22 usines à l'endroit des chutes ; mais les machines à vapeur satisferaient à tous ces besoins, le prix du pouce d'eau distribué dans Paris serait moitié moindre, et le cheval de vapeur coûterait quatre fois moins que le cheval d'eau.

Les exploitations des mines présentent en réalité des applications plus grandes encore des machines à vapeur.

opposer directement à l'ennemi, on peut avoir besoin de les élever d'abord, au moyen des machines à vapeur, dans quelques parties des fossés ou plis de terrain formant réservoirs ; enfin, dans quelques circonstances, les machines à vapeur devront sortir de l'enceinte même de la place pour tendre des inondations, remplir les fossés d'une tête de pont, former des blancs d'eau, ou aller au loin sous la protection de quelque ouvrage extérieur, puiser l'eau nécessaire à la défense.

Tous ces résultats ne pourraient évidemment s'obtenir au moyen d'une seule machine fixe établie au centre d'une place, et destinée à distribuer les eaux partout où l'on en aurait besoin ; le développement immense de tuyaux de conduite et les travaux considérables qu'il faudrait faire pour les placer, rendraient ce projet inexécutable dans la plupart des localités. Si d'ailleurs, pour éviter ces inconvéniens, au lieu d'une seule machine fixe on en établissait plusieurs sur différens points de la place, on augmenterait beaucoup la dépense, puisque ces machines, ne pouvant se prêter un mutuel secours, devraient être d'une force assez grande pour se suffire à elles-mêmes ; il faut encore prévoir le cas où quelque accident viendrait à suspendre l'action d'une de ces machines : car si c'était précisément celle du front d'attaque qui se trouvât arrêtée, la place serait prise au dépourvu comme si elle n'avait pas une seule machine dont elle puisse disposer.

Si, au contraire, les machines à vapeur sont mobiles, elles viendront se placer au point même où elles devront agir, et un très-petit nombre satisfera à tous les besoins, puisque leur action sur ces différens points pourra être successive; enfin, s'il arrive un accident à l'une d'elles sur un front important de la place, toutes les autres peuvent accourir aussitôt à son secours. De la même manière, en dirigeant ces machines sur d'autres places menacées d'un siége, on évitera d'en entretenir un nombre trop considérable; il suffira de prévoir à l'avance les points où il serait utile de les faire jouer, afin d'y construire des voûtes pour les mettre à l'épreuve de la bombe, ainsi que les puisards nécessaires.

La mobilité des machines à vapeur est donc en général une condition essentielle à leur emploi comme machines de guerre; il faut d'ailleurs chercher à étendre les services qu'elles peuvent rendre, c'est le seul moyen d'en répandre l'usage dans les places; or si les machines à vapeur sont mobiles, elles peuvent être employées avec un immense avantage dans tous les travaux qui exigent l'emploi d'une certaine force; tels qu'aux épuisemens, aux déblais et remblais, au débit des bois pour la mise en état de défense des places; enfin, à la mouture des grains en approvisionnement, opération souvent difficile au moment du siége, et quelquefois inexécutable, s'il n'y a pas de moulins dans la place, et

que l'ennemi se soit emparé de ceux situés à l'extérieur.

Indépendamment de leur mobilité, il faut que ces machines soient réduites au plus grand degré de simplicité, qu'elles soient faciles à gouverner et à entretenir; enfin que, sous un petit volume, elles aient une très-grande force, afin de produire plus d'effet, et d'occuper moins de place dans les abris voûtés, et sur le terrain réservé aux autres armes.

Nous avons essayé de résoudre ce problème dans le projet de machine à vapeur indiqué, planche XIII. Ce projet est une imitation de la machine locomotive de M. Blenkinsop, qui fut mise en activité pour la première fois en Angleterre, en 1815, sur la route en fer à crémaillère de Middleton à Leeds, pour le transport du charbon de terre; mais dans la nouvelle application que nous voulions en faire, la machine n'ayant pas besoin de se traîner elle-même, nous avons pu n'employer qu'un seul cylindre à vapeur, supprimer tous les engrenages, simplifier beaucoup le mécanisme, et combiner enfin toutes les parties de la manière la plus convenable pour l'objet que nous avions en vue.

Ce projet, présenté en 1825 au ministre de la guerre, a été soumis à une commission spéciale chargée d'en discuter les diverses applications. Sur le rapport favorable qui a été fait de cette machine, S. Exc. en a ordonné la construction.

La machine est à haute pression, et à double effet sans condenseur ; elle est montée sur un chariot avec lequel elle fait système, et peut être traînée par 6 ou 8 chevaux, comme une pièce de 24 ; son poids est d'environ 12.000 livres, sa voie est la même que celle de l'artillerie.

La chaudière renferme le foyer qui sert à la chauffer. Sur le train de derrière se trouvent trois gros cylindres liés entre eux et au chariot d'une manière invariable : celui du milieu sert de cylindre à vapeur ; les deux autres sont des pompes à eau. Ces pompes qui ont le même tuyau d'aspiration communiquent aussi à un même tuyau de fuite sur lequel se trouve un réservoir d'air, situé derrière le cylindre à vapeur, et destiné à régulariser le mouvement de l'eau. La tige du piston à vapeur, et celles des deux corps de pompes sont reliées par une traverse horizontale ou balancier, qui peut monter et descendre librement entre deux guides : la force motrice se trouve ainsi appliquée immédiatement à l'effet utile, avantage inappréciable pour l'économie de cette force. Entre le cylindre à vapeur et la chaudière, se trouvent deux autres petits cylindres, dont l'un sert de pompe alimentaire pour fournir à la dépense d'eau de la chaudière, et l'autre de régulateur pour faire passer alternativement la vapeur au-dessus et au-dessous du piston moteur, et lui donner ensuite une issue dans l'air lorsqu'elle a produit son effet.

Les roues du train de derrière du chariot servent

de volans dans le jeu de la machine, afin de déterminer le retour du piston moteur à chaque extrémité de sa course, et de transformer son mouvement rectiligne en mouvement circulaire, ce qui est nécessaires dans certainscas ; à cet effet, l'essieu peut être rendu mobile sur des tourillons, en même temps que les roues sont fixes sur cet essieu, tandis que pour la route, au contraire, l'essieu doit être fixe et les roues mobiles ; de simples clefs qu'indiquent le dessin permettent d'effectuer ce changement d'état. En soulevant par un cric l'arrière-train du chariot, on le fait porter sur quelques pièces de bois disposées en chantier; les grandes roues se trouvant ainsi dégagées peuvent tourner comme volans, au moyen de deux bielles fixées d'une part aux extrémités de la traverse horizontale qui lie les tiges des pistons, et de l'autre à des manivelles emboîtées sur les moyeux des roues. Par cette dispotion, la cheminée est la seule pièce à enlever pour la marche, en sorte qu'en moins d'une heure la machine peut passer de l'état de travail à l'état de route, ou réciproquement.

Les légendes qui accompagnent le dessin font connaître tous les détails du mécanisme : on doit y remarquer particulièrement le robinet à vapeur, placé sur le tuyau qui communique de la chaudière au cylindre à vapeur, et qui sert de gouvernail pour régler la vitesse de la machine, en permettant d'admettre plus ou moins de vapeur.

Cette machine est calculée pour une force de douze

chevaux; une plus grande puissance ne pouvait guère s'obtenir sans sortir des autres conditions que nous nous étions imposées; elle paraîtra encore assez grande, si on se rappelle qu'un cheval de vapeur est capable d'élever 265 mètres cubes d'eau à 1 mètre de haut dans une heure, ou équivaut à peu près à trois chevaux vivans (voyez la note, page 201); d'où il suit que la force de notre machine serait équivalente à celle de trente-six chevaux ordinaires attelés à un manége, et agissant simultanément; or, comme il faudrait trois relais de chevaux vivans si l'on devait travailler jour et nuit, elle serait donc capable de faire l'ouvrage de cent huit chevaux nourris et entretenus. Cette machine ne doit d'ailleurs être considérée que comme une unité de puissance à employer, dont le nombre serait proportionné aux effets que l'on voudrait obtenir : on peut la faire agir par tous les degrés de force au-dessous de douze chevaux, en diminuant la tension de la vapeur et la vitesse de la machine; on a donc ainsi une très-grande latitude de force pour satisfaire à tous les cas qui pourraient se présenter.

Le piston à vapeur a un pied de diamètre et deux pieds de course; il peut battre de 30 à 45 pulsations complètes par minute, ce qui correspond à une vitesse de 120 à 180 pieds dans le même temps; la tension habituelle de la vapeur est supposée de 4 atmosphères; mais la machine n'ayant point de condenseur, et le tiers de la force motrice étant absorbé

en général dans les machines à vapeur par les frottemens, l'inertie des masses à mouvoir, et pour entretenir la vitesse, il ne resterait que 2 atmosphères environ pour l'effet utile.

Les deux pompes placées d'une manière fixe de chaque côté du cylindre à vapeur sont des mêmes dimensions que ce cylindre, et à double effet; elles peuvent fournir chacune 52 litres $\frac{1}{4}$ d'eau par coup de piston; il en résulte que pour une vitesse de 30 à 45 pulsations complètes par minute, et en travaillant avec une force de 12 chevaux, elles pourront porter l'eau qu'elles débitent à une hauteur de 5 à 8 mètres au-dessus du point d'aspiration; si la hauteur à franchir était moindre, il faudrait changer en conséquence la machine, en y ajoutant d'autres pompes, une noria, une roue à palettes ou à godets; pour une hauteur plus grande, il faudrait au contraire réduire le calibre des pompes par des manchons intérieurs, de manière à agir sur une masse d'eau moins considérable; et, comme d'ailleurs on est maître de varier la force même de la machine, ainsi qu'on l'a déjà dit, il sera donc toujours facile d'utiliser le mieux possible cette force dans chaque cas particulier.

Le mouvement des pompes à eau devant être rectiligne alternatif, comme celui du piston moteur, il était naturel de profiter de cette circonstance favorable pour lier immédiatement ces deux mouvemens l'un à l'autre; mais, si pour d'autres applications on voulait avoir un mouvement de rotation,

pour faire mouvoir par exemple une noria, des moulins, etc., on peut le prendre sur l'arbre même des roues servant de volant, soit au moyen d'une bielle horizontale fixée au bras de la manivelle de chacune de ces roues, soit avec un excentrique placé sur l'arbre qui les supporte, soit enfin par une chaîne sans fin passant sur une poulie fixée sur ce même arbre; on peut d'ailleurs lier la machine à vapeur à celle de rotation, au moyen de quelques pièces en bois ou en fer fortement boulonnées sur les deux machines; et, dans le cas où les volans de la machine à vapeur ne seraient pas assez forts pour conduire la machine de rotation, quoique pour les applications militaires on n'aie pas besoin d'une très-grande régularité de mouvement, on remplacerait les roues par des volans plus forts, ou l'on ajouterait un volant auxiliaire sur la machine de rotation elle-même; il résultera de la liaison des deux machines le même effet que s'il n'y avait qu'un seul arbre de rotation et un seul volant : on évite ainsi de charger la machine à vapeur d'un poids qui lui serait ordinairement inutile et qui s'opposerait à sa mobilité.

Dès que cette machine a été construite on l'a amenée de l'atelier, au bord du canal St.-Martin pour y être essayée ; elle a eu à parcourir une distance de trois lieues; et, quoique conduite au grand trot pendant une partie de la route, il ne lui est arrivé aucun accident. Après avoir disposé les tuyaux nécessaires pour la mettre en communi-

cation avec le réservoir d'eau on l'a mise en action ; pour bien étudier le jeu de son mécanisme, on l'a fait jouer pendant environ deux mois ; voici le résultat des observations auxquelles elle a donné lieu.

1°. Le foyer de la chaudière paraît trop resserré, le feu languit et a peu d'activité ; il faut mêler du bois au charbon pour le faire brûler ; la chaudière ne peut alors donner toute la quantité de vapeur qu'elle devrait fournir. Le tuyau de fuite de la vapeur n'a que deux pouces de diamètre, et file sur toute la longueur de la chaudière pour se rendre dans la cheminée : il en résulte un frottement considérable de la vapeur qui ralentit sa vitesse, et qui doit par conséquent diminuer la force de la machine. L'introduction de la vapeur dans la cheminée n'est peut-être pas non plus sans quelques inconvéniens pour le tirage du foyer : il faudrait essayer de faire déboucher immédiatement la vapeur dans l'air, au sortir de la machine, après avoir échauffé l'eau d'alimentation. La chaudière devrait être entourée d'une enveloppe en laine ou en bois, pour éviter son refroidissement dans l'air.

2°. Le régulateur ne remplit qu'imparfaitement son objet. Cette pièce, destinée à faire passer la vapeur tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du piston moteur, la laisse agir simultanément sur les deux côtés à la fois, pendant quelques instans, à chaque pulsation. On ne s'aperçoit de ce défaut qu'en donnant une très-petite vitesse à la machine ; on voit

alors le volant éprouver, à chaque demi-révolution, un temps d'arrêt qui le force souvent à rebrousser chemin. Cet effet disparaît en donnant à la machine toute sa vitesse, à cause de l'action du volant qui détermine le mouvement de rotation toujours dans le même sens; mais la vitesse de ce volant ne tend pas à s'accélérer, elle se trouve à chaque tour à peu près ce qu'elle était au commencement du mouvement, et le piston moteur, au lieu de produire tout son effet, n'agit donc qu'avec une différence de force: il en résulte aussi de violentes secousses sur les bielles et sur les coussinets du volant. Il faudrait changer le mouvement du régulateur, et le disposer de manière à pouvoir travailler avec détente pour mieux utiliser la vapeur fournie par la chaudière. On a vu en effet, page 211, quel avantage on pouvait retirer de la détente de la vapeur.

3°. Les clapets des pompes à eau ne fonctionnent pas comme ils le devraient. Par leur disposition verticale, ils restent souvent entr'ouverts, en sorte que l'aspiration n'est pas complète, et que les pompes, quoique disposées pour le double effet, ne donnent par fois qu'un effet simple. On juge facilement de ce défaut par l'émission de l'eau à la sortie des pompes, qui, malgré le réservoir d'air servant de régulateur, est souvent alternative. Il arrive encore que l'eau, au lieu d'être chassée dans le tuyau de fuite, après avoir été aspirée, revient sur ses pas. Voici comment on s'en est aperçu: on avait soin tous les jours d'amorcer les pompes au

commencement du mouvement, en y introduisant de l'eau par le haut de la machine; mais pour que cette eau ne s'écoulât pas par l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration, on avait placé à cette extrémité un fort clapet qui, s'ouvrant de dehors en dedans, se trouvait fermé par le poids de l'eau, et pouvait s'ouvrir lors de l'aspiration; mais, quelque solidité qu'on ait donné à ce clapet, tous les jours il fallait le démonter pour le réparer, et tous les jours on le trouvait enfoncé en sens opposé de l'aspiration. Le tuyau d'aspiration lui-même, quoique essayé à plusieurs reprises à la presse hydraulique, présentait cependant des imperfections à l'endroit des soudures, dès qu'il avait servi quelque temps. Enfin on s'est douté du retour de l'eau, et l'on a même entendu très-distinctement le choc des deux courans d'aspiration et de fuite. Il résultait parfois dans le tuyau d'aspiration des mouvemens de trépidation, dont on a été long-temps à deviner la cause. Pour éviter ces défauts, les clapets des pompes à eau, au lieu d'être placés verticalement, devraient être horizontaux ou inclinés, de manière à tendre toujours à se fermer par leur propre poids : on peut facilement les changer, ou placer une petite masselotte à leur extrémité inférieure, de manière à éloigner leur centre de gravité de l'axe de suspension.

4°. Le réservoir d'air destiné à régulariser le mouvement de l'eau à la sortie des pompes fait des pertes considérables; il faudrait le démonter

pour le réparer et l'essayer à la presse hydraulique.

5°. La pompe alimentaire de la chaudière est une pièce manquée ; l'aspiration n'y est pas continue ; sa disposition est très-compliquée et très-peu solide.

6°. La chaudière fait des pertes très-considérables par l'un de ses fonds ; il faudrait la démonter de dessus le chariot et retirer les tuyaux intérieurs pour la réparer.

7°. Le robinet à vapeur éprouve aussi de grandes pertes ; cette pièce devrait être refaite sur le modèle de celles qui sont en usage maintenant dans toutes les machines bien établies.

8°. L'une des grandes roues du chariot est hors de service ; les rais sont éclatés, et présentent maintenant plusieurs défauts que l'ouvrier avait masqués sous la peinture avec des clous et du mastic. Le bois vert employé pour les jantes a éprouvé aussi un retrait considérable, et les bandes de ceinture s'en sont détachées. L'autre roue, au contraire, est restée intacte.

La plupart de ces défauts proviennent évidemment d'une mauvaise construction ; et le mécanicien ne pouvait les rejeter sur la disposition de la machine, puisqu'ils en sont tout-à-fait indépendans ; ces détails ne lui auraient pas présenté la moindre difficulté, si malheureusement la construction de cette machine n'eût été pour lui un coup d'essai, quoiqu'on ait eu toute raison de le croire consommé

dans son art; cependant, n'ayant pas voulu faire à son compte les réparations, on a soumis à l'arbitrage des experts cette affaire, qui est encore en litige (1).

Quoique, par suite de ces circonstances, les expériences faites sur cette machine soient restées incomplètes, elles ont cependant suffi pour démontrer la possibilité d'avoir une machine mobile, susceptible d'agir en peu de temps sur tous les points où l'on en aurait besoin; et, dès qu'on voudra développer assez de moyens pour cette entreprise, on peut être assuré de sa réussite (2). Il nous reste à démontrer tous les avantages qu'on peut retirer de ce projet.

---

(1) L'estimation de cette machine, par M. Steel, directeur de la fonderie de la Gare, qui primitivement devait être chargé de sa construction, est de 25.000 fr. La machine à vapeur proprement dite est évaluée 18.000 fr. à raison de 1.500 fr. par cheval.

(2) Si on n'eût pas craint autant la dépense, c'était en Angleterre, pays classique de la mécanique, qu'on devait aller chercher des conseils, des exemples, et peut-être même faire exécuter une première machine. M. Séguin d'Annonay n'a pas hésité à entreprendre ce voyage pour l'établissement des machines locomotives du nouveau chemin en fer en construction de St.-Étienne à Lyon; et, après avoir parcouru l'Angleterre et consulté les meilleurs mécaniciens, il a fait venir l'année dernière une machine locomotive pour servir de modèle à celles qu'il se propose de construire. C'est la première qui ait encore paru en France.

§. II.

EMPLOI DES MACHINES A VAPEUR POUR LA DÉFENSE DES PLACES.

Élévation de l'eau.

L'application la plus importante et la plus utile des machines à vapeur dans les places, est l'élévation de l'eau ; les problèmes auxquels elle peut donner lieu se réduisent à évaluer la capacité d'un bassin donné, en ayant égard aux pertes dues à l'évaporation et aux filtrations, et à calculer la force qu'il faudrait employer pour élever l'eau à la hauteur de ce bassin dans un temps donné.

La perte due à l'évaporation est assez faible ; elle est fixée par l'expérience, à une tranche de $0^m,865$ de hauteur par an, ou terme moyen, à millimètres $\frac{1}{2}$, par vingt-quatre heures ; elle est compensée en partie par les pluies.

Les filtrations occasionent ordinairement des pertes beaucoup plus considérables, et il est difficile de les évaluer d'avance, parce qu'elles dépendent de la nature du sol ; ces pertes peuvent être égales à la masse même des eaux déversées, si le terrain présente des fissures en communication avec quelques bassins inférieurs, ou s'il n'est formé que de cailloux

ou de gros gravier à une très-grande profondeur ; mais ce cas est assez rare, et il est encore possible d'y remédier, soit en couvrant le fond des réservoirs d'un corroi de terre grasse ou d'une couche de béton, soit en y introduisant seulement des eaux chargées d'alluvions, ou dans lesquelles on aurait délayé de la terre grasse ou du sable (1) ; il est d'ailleurs prouvé

---

(1) Le canal Calédonien, qui traverse la grande vallée d'Écosse, offre sous le rapport des moyens que l'on peut employer pour combattre les filtrations, un exemple des plus remarquables. Ce canal, où les frégates naviguent à pleines voiles, a une largueur d'environ cent vingt pieds à la ligne de flottaison, et une profondeur d'eau de dix-sept à vingt pieds. Tracé sur le flanc de collines composées tantôt d'alluvions grasses ou ténues recouvrant des roches, tantôt de dépôts de cailloux roulans et d'un très-gros gravier ; ce canal est coupé par un grand nombre de vallées qu'il a fallu passer en le formant en relief sur une hauteur de 20, 30 et jusqu'à 60 pieds au-dessus du terrain naturel. Avec des remblais aussi énormes, et sous une charge d'eau aussi grande que celle que supporte le fond du canal, on a peine à concevoir qu'il ait été possible de le rendre étanche. Il a fallu sur quelques points, où le remblai n'était formé que de débris de rochers, revêtir intérieurement le canal d'un corroi de terre glaise ; mais on a reconnu en général que lorsque le sol contenait une proportion suffisante de sable, fût-il même de cailloux ou de gros graviers, il s'étanchait bientôt de lui-même ; et que, dans tous les cas où cette proportion n'était pas assez grande, il suffisait de verser du sable sur les berges et au fond du canal : ces dépôts pénétrant dans les pores trop ouverts du terrain les bouchent en très peu de temps.

« Ce moyen, dit M Telfort l'habile ingénieur qui a dirigé ces » travaux, est aussi prompt que sûr ; on obtient plus vite en-

par les biefs des canaux qu'il est possible en général de remplir d'eau des bassins creusés dans le sol ; et on compte qu'en terrain ordinaire, les pertes dues aux filtrations ne sont que de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de l'évaporation (1). Elles sont beaucoup plus grandes dans les mauvais terrains ; cependant, au canal de l'Ourcq, où le sol est considéré comme tel, la perte est évaluée à vingt fois l'évaporation, et on la regarde comme immense ; elle n'équivaut cependant qu'à une tranche de 5 centimètres (2 pouces) par vingt-quatre heures. Il suffit, d'ailleurs, que l'effet des machines à vapeur soit supérieur aux pertes pour maintenir ou rétablir promptement le volume des eaux nécessaires à la défense.

Pour évaluer la quantité d'eau que peut élever une machine à différentes hauteurs, on doit partir de ce principe bien connu en mécanique que l'effet d'un moteur est proportionnel au poids qu'il peut élever et à la vitesse de ce poids, et que par suite il peut être mesuré par le produit de ces deux élémens.

Il résulte de là que l'effet du cheval de vapeur est en raison inverse de la hauteur à laquelle il doit

---

» core le même résultat avec la glaise, mais d'une manière moins » simple et moins économique. » (Histoire du canal Calédonien, par M. Flachat.)

(1) Cours de construction de M Sganzin.

porter l'eau ; si donc, d'après sa définition, il est capable d'élever 265 mèt. cubes d'eau à 1 mèt. de haut dans une heure, ou 400 pieds cubes à un pied de haut dans une minute (voyez page 201), il n'élèverait dans le même temps que la moitié de cette masse à une hauteur double, le tiers à une hauteur triple, ainsi de suite ; il sera donc toujours facile d'évaluer, dans chaque cas particulier, le temps et le nombre de chevaux de vapeur ou de machines à employer, pour élever un certain volume d'eau à une hauteur donnée.

Il est facile, d'après ces données, de résoudre toutes les questions relatives à l'élévation de l'eau pour la défense ; chaque localité peut les faire varier d'une foule de manières : nous en citerons plusieurs exemples traités d'une manière générale pour ne pas divulguer le système de défense des places dont nous les avons tirés.

Un pli de terrain forme un grand bassin en avant d'une place : ce bassin est à 100 *pieds au-dessus du niveau naturel de l'eau dont la place dispose, et sa superficie est d'un million de pieds carrés. Il s'agit d'y former une inondation artificielle de* 5 *pieds de profondeur moyenne d'eau.*

C'est donc cinq millions de pieds cubes d'eau qu'il s'agit d'élever à 100 pieds. Une machine de 12 chevaux n'en fournirait à cette hauteur que 69.120 par jour ; en sorte qu'il faudrait ainsi près de soixante-douze jours pour compléter l'inondation, non compris les pertes de l'évaporation et des filtrations.

Cependant on est pressé d'obtenir le résultat demandé : on fait alors agir quatre machines, et en moins de dix-huit jours l'inondation est complète. Il suffira ensuite d'une seule machine pour l'entretenir, et les autres, devenues disponibles, pourront être dirigées sur d'autres points.

L'agriculture a conquis un marais qui couvrait plusieurs fronts de fortification ; les débris des végétaux, en exhaussant insensiblement le sol, et les canaux de desséchement en baissant le niveau des eaux, permettent maintenant à l'ennemi d'ouvrir des tranchées sur un terrain autrefois imbibé d'eau. On veut rendre ce terrain à l'eau au moment du siége, afin de couvrir de nouveau les fortifications.

Une seule de nos machines y versera 2.304.000 pieds cubes d'eau par jour, en supposant qu'elle doive l'élever de 3 pieds; en sorte que toute cette plaine spongieuse, quelle que soit son étendue, sera bientôt rendue à son état primitif de marais : d'où l'on voit qu'on pourrait désormais rendre à l'agriculture ces marais infects conservés jusqu'à présent pour la défense de quelques places. La garnison y gagnerait en santé, les habitans en produits, ce qui compenserait au centuple la dépense des machines.

On veut remplir d'eau les fossés d'une place pour remédier au peu de hauteur de ses escarpes, et se dispenser de revêtir les ouvrages extérieurs : une rivière voisine, barrée par un pont éclusé, pourrait donner ce résultat ; mais il faudrait encore prolonger ce pont par une digue à travers la vallée, jus-

qu'au pied des hauteurs qui la bordent, et occuper la tête de cette digue par un ouvrage qui, hors de la portée de la place, doit être considérable : ce projet est évalué à plus de 4 millions ; on est effrayé de cette dépense, et il est à craindre encore que l'ennemi n'établisse des batteries en amont du pont éclusé pour le détruire.

Les machines à vapeur peuvent résoudre le problème plus sûrement et à bien moins de frais : les fossés de la place qui équivalent à ceux d'un hexagone présentent une surface de 114.700 mètres carrés ; et, pour les remplir de 2 mètres d'eau, il faudrait élever 229.400 mètres cubes. Si la hauteur à franchir est de 6 mètres, deux machines de 12 chevaux donneront ce produit en moins de dix jours, et avec la faible dépense de 1000 à 1200 francs de charbon.

Une place située au bord d'une rivière est bordée par un immense vallon où coule un ruisseau affluent de cette rivière. En barrant ce ruisseau, on pourrait inonder tout le vallon, et rendre la place inattaquable sur la plus grande partie de son pourtour ; mais il est à sec en été, ou donne habituellement si peu d'eau, qu'il faudrait trois ou quatre mois pour que l'inondation fût tendue.

Les machines à vapeur permettront d'obtenir tous les avantages que présente cette heureuse position ; postées dans l'endroit le plus convenable pour puiser l'eau de la rivière, elles la déverseront dans le bassin d'inondation. La surface de ce bassin est

évaluée à 400.000 mètres carrés; pour y mettre 1m,30 de hauteur d'eau, il faut élever 520.000 mètres cubes. Si la hauteur moyenne à franchir est de 3 mètres, deux machines de 12 chevaux n'auraient besoin d'agir que 10 jours, et 11, 12 ou 13 si les filtrations sont considérables.

Un ouvrage avancé prend des revers très-avantageux sur le front d'attaque d'une place : on veut le conserver à l'abri des efforts de l'assiégeant par des flaques d'eau artificielles.

En même temps qu'on construit cet ouvrage, on creuse autour une flaque de 80 à 100 mètres de largeur, sur 1 mètre de profondeur; et au moment du siége une de nos machines la remplira d'eau en quelques heures.

En avant d'une place baignée par une rivière le terrain se releve en pente douce, à mesure qu'il s'éloigne de la rivière et de la place; on veut le couvrir d'eau pour y arrêter l'ennemi.

Une simple levée en terre, établie le long de la rivière, et protégée par quelques ouvrages noyés, fournira un vaste bassin d'inondation que pourront remplir les machines à vapeur; et, quand bien même l'ennemi parviendrait à saigner cette inondation, elle aurait encore un avantage, car le temps plus ou moins long qu'exigerait ce travail serait toujours un retard, et l'imbibition du terrain ne permettrait que très-difficilement d'y creuser des tranchées.

Un fort situé sur le bord de la mer ou d'une ri-

vière, en avant d'une place, n'a pas une communication assurée avec elle ; il est à craindre que l'ennemi ne l'intercepte entièrement.

On couvrira cette communication par une levée en terre, en forme de caponnière ; et en déversant l'eau au delà, on ôtera à l'ennemi tout moyen d'attaque.

Il existe en avant d'une place un pli de terrain, ou un avant-chemin couvert susceptible d'être inondé par des machines ; l'ennemi le trouvant propice à ses attaques, et ne soupçonnant pas d'ailleurs la possibilité d'une inondation, par la hauteur où il se trouve au-dessus du niveau des eaux, y ouvre la tranchée et y construit ses batteries.

Les machines à vapeur accourront sur le front menacé, et lorsque l'attaque de l'ennemi sera bien dessinée, et qu'on jugera le moment favorable, elles le noieront dans ses tranchées ; il en sera alors pour sa peine, son temps, et peut-être même pour son canon. S'il veut reporter son attaque d'un autre côté, les machines à vapeur l'y suivront pour lui opposer de nouveaux obstacles.

L'assiégeant vient de couronner le chemin couvert du front d'attaque, situé sur un plateau à 10 *mètres au-dessus du niveau des eaux. Afin de rendre le passage du fossé plus long et plus difficile, et la brèche inaccessible lorsqu'elle sera faite, on veut le remplir de* 3 *mètres d'eau.*

Les fossés du front d'attaque équivalant à ceux de deux fronts bastionnés, offrent une surface de 38.240 mètres carrés ; ils exigeraient 104.720 mè-

tres cubes d'eau pour être remplis. A 10 mètres de haut, une seule machine ne pourrait en fournir que 7.608 mètres par jour; mais comme l'opération doit être terminée en quatre jours, puisque l'ennemi peut être en mesure de commencer le passage du fossé quatre jours après le couronnement du chemin couvert, il s'ensuit qu'il faut faire travailler quatre machines. Elles déverseront dans le fossé en moins de trois jours et demi la quantité d'eau demandée.

L'ennemi bat en brèche le corps de place, et a commencé son passage de fossé; on veut renverser ce travail et noyer ses colonnes d'assaut au moment où elles paraîtront dans le fossé.

L'assiégé, prévoyant ce moment critique, aura profité des parties hautes des fossés de la place, ou même de la citadelle qui occupe un plateau élevé, pour y faire des réserves d'eau. Ces bassins sont, par exemple, à 20 mètres au-dessus du niveau naturel des eaux de la place; leur surface, équivalant à celle de quatre fronts bastionnés, est de 76.480 mètres carrés: on peut les remplir de 4 mètres d'eau, sans noyer les chemins couverts. Ce serait donc 305.920 mètres cubes d'eau à élever. Une seule machine ne fournirait à 20 mètres de haut que 5.816 mètres cubes par jour; en sorte qu'il faudrait près de quatre-vingts jours pour élever la quantité d'eau demandée; et, comme il est probable qu'on ne commencerait point l'opération avant l'ouverture de la tranchée, la place aurait le temps d'être prise

avant qu'on pût faire usage de ce moyen de défense ; mais, si on réunit cinq machines, il ne faudra plus que seize jours, temps beaucoup moindre que celui nécessaire à l'assiégeant pour parvenir au fond du fossé du corps de place dans un siége ordinaire : on se trouvera donc prêt à donner la chasse au moment du besoin. Cette quantité d'eau permettra de la renouveler plusieurs fois, alimentée d'ailleurs par les machines à vapeur qui continueront toujours à travailler (1).

---

(1) Bousmard décrit d'une manière piquante la défense du fossé par les eaux, en se servant d'un bassin d'inondation rempli au moyen d'un barrage.

« Les fossés du front d'attaque, maintenus à sec tout le temps » que l'assiégé le jugera convenable, lui permettront de faire » sous le glacis des contre-mines, qui feront éprouver à l'assié- » geant de grands retards dans la marche de ses attaques. On » sait aussi que celui-ci ne peut triompher de cet obstacle qu'en » déployant des moyens du même genre, dont le plus puissant » est, sans contredit, le globe de compression, au moyen du- » quel il crève à la fois, à une grande distance, les galeries et ra » meaux de l'assiégé, enlève la crête de son chemin couvert, et » renverse sa contrescarpe. Mais quand, par les progrès et les » événemens de la défense souterraine, l'assiégé prévoira qu'il » va éprouver cet effet de la part de l'assiégeant, ne peut-il pas » l'empêcher à l'instant même, en introduisant les eaux de l'i- » nondation de toute leur hauteur dans le fossé ? Voilà, dès cet » instant, l'assiégé qui a perdu son temps à préparer son volcan » artificiel, presque toujours placé à une grande profondeur, » forcé à revenir, par la voie ordinaire, à l'attaque de la con- » trescarpe. Il l'emporte enfin, mais de nouvelles difficultés l'at- » tendent au passage de ce fossé maintenant plein d'eau.

» Il fera sans doute un pont de fascines, car il craindra l'ef-

Enfin comme dernier exemple, nous citerons la place d'Alexandrie, ville célèbre dans les annales de la fortification, par les immenses travaux qu'y firent les Français (1). Elle devait recevoir les débris de l'armée d'Italie en cas de revers, et offrir tous les magasins et moyens de défense nécessaires, pour qu'un corps de 40.000 hommes pût tenir pendant six mois, et attendre de nouveaux renforts, en menaçant les derrières de l'ennemi s'il tentait de marcher par les passages des Apennins qui se trouvent en arrière.

» fet du courant rendu aux eaux du fossé. Ce pont, le plus léger » possible ainsi que son épaulement, sera porté par un grand » nombre de longs piquets, ou petits pilots : peut-être aura-t-il » des arcs-boutans ou des ancres pour le retenir? Déjà il est près » d'atteindre à la brèche, dont le talus adouci à force de bombes » et de boulets, provoque l'impatience de l'assiégeant à donner » l'assaut. Déjà celui-ci a jeté de longues perches pour atteindre » ce talus par une espèce de pont-levis ; mais l'assiégé lâche à l'in- » stant les écluses de sortie des eaux, ou de fuite. Déjà le bas » de la brèche s'éboule, le pont de fascines chancelle, se délie ; » on ose à peine s'y confier pour essayer de le raffermir ; mais » une plus violente secousse est près de le choquer ; on ouvre » les écluses de chasse qui donnent de nouveau entrée aux » eaux, il ne peut résister à ce torrent. Il est emporté, en lais- » sant l'assiégeant dans le désespoir de parvenir jamais par un » travail plus solide, à surmonter un obstacle aussi violent, » dont le renouvellement est à la disposition de l'assiégé. »

(1) Le projet de défense d'Alexandrie était évalué à 55 millions ; en 1814, lors de l'évacuation de la place, on en avait dépensé 30. On employait habituellement à ces travaux 8.000 hommes de la garnison, 4.000 forçats et un grand nombre d'ouvriers du pays,

La ville, située sur la rive droite du Tanaro, n'avait qu'une vieille enceinte à peine à l'abri d'un coup de main ; elle fut couverte par les eaux de la Bormida, rivière dont le cours est supérieur à celui du Tanaro, et qu'on détourna pour l'amener sous les murs de la place, afin de remplir les fossés et alimenter plusieurs inondations formées à la queue des glacis, et à la gorge de plusieurs grandes couronnes jetées en avant.

La citadelle, située sur la rive gauche du Tanaro, formait tête de pont, et donnait un débouché au-delà de cette rivière ; sa défense, plus importante encore que celle de la place, fut assurée en éclusant l'ancien pont en pierre du Tanaro, de manière à faire refluer les eaux de cette rivière dans les fossés, et dans un bassin naturel d'inondation qui régnait autour des glacis. Cette partie était regardée comme inattaquable, tant que l'ennemi ne se serait pas rendu maître de la ville pour détruire le pont éclusé, et saigner l'inondation : aussi n'épargna-t-on rien pour la sûreté de ce pont. Il était formé de dix arches en maçonnerie et présentait une longueur totale de 218 mètres ; il fallut construire un radier et des piles entre les arches pour soutenir le barrage. On entreprit ces travaux sous les auspices les plus défavorables ; la rivière coulant sur un sol mouvant, d'un lit très-variable, est de plus sujette à des crues d'orage qui la font monter de 6 à 8 pieds en vingt-quatre heures. Le pays n'offrait aucune ressource ; il fallut tout créer, sonnettes, machines

à épuiser, dragues, appareils de tous genres : les bras même manquaient, et on f t obligé de faire travailler plusieurs régimens d'infanterie, et des bataillons de sapeurs. Il y eut jusqu'à 500 hommes employés jour et nuit aux épuisemens; on eut à lutter contre des difficultés de tout genre; à chaque instant il se manifestait de nouveaux accidens causés par la force du courant, les crues et la mauvaise qualité du sol ; plusieurs fois les batardeaux furent rompus ; le faux radier était à peine achevé qu'il fut presqu'entièrement détruit, il fallut le reconstruire : souvent on désespéra de réussir ; enfin, après trois ans de travaux continuels, d'efforts extraordinaires, M. le chef de bataillon du génie Mayniel, l'habile ingénieur qui dirigeait cet ouvrage, parvint à le terminer. La dépense seule du radier s'éleva à 982.000 fr., l'entretien des enrochemens exigeait chaque année une somme de 7 à 8.000 fr. ; l'approvisionnement des poutrelles, et d'un pont de service pour les placer, des poulies, treuils, etc., était de 47.000 fr.; celui des deux estacades pour couvrir le pont en amont contre les brûlots lancés par l'ennemi du haut du Tanaro 10.000 fr. On doit ajouter encore à ces dépenses 1.544.000 fr. pour la construction du quai de la rive droite du Tanaro, à l'extrémité du pont, et d'une écluse de navigation servant en même temps de déversoir : total 2.583.000 fr. pour l'éclusement du pont.

Ce n'était pas assez de former le barrage, il fallait encore le défendre ; on avait surtout à craindre qu'il

ne fût battu en aval par la trouée de la rivière. Pour parer à cet inconvénient on occupa une île du Tanaro qui servait de masque dans cette direction ; mais on fut obligé pour ainsi dire de la créer, en l'entourant de pilotis et d'enrochemens en pierres factices, car on ne trouvait point de pierres dans le pays. Ces ouvrages exigèrent une dépense de 480.000 fr., et en 1814, il fallait encore 420.000 fr. pour les achever.

Malgré tous ces travaux, on était encore loin d'être rassuré sur leurs résultats. « Les travaux du pont, » dit M. le général Chasseloup, dans ses mémoi» res, ayant mieux fait connaître la nature du fond » qui est très-mauvais, donnèrent, sinon une cer» titude entière, du moins les plus fortes proba» lités que tout barrage dans cette rivière était im» praticable. » Et, en effet, lors de la construction du radier, plusieurs fois des batardeaux, en apparence les plus solides, avaient été renversés sous une charge d'eau assez faible, quoique la moitié des arches ne fussent pas fermées ; qu'aurait-ce été s'il avait fallu compléter entièrement le barrage au moment d'un siége ! On avait donc tout à craindre qu'alors il ne fût emporté, surtout si une crue subite était survenue à ce moment. La manœuvre des poutrelles ne pouvait d'ailleurs se faire sous les arches qu'avec beaucoup de difficultés et une extrême lenteur. A quels dégâts n'était-on pas exposé encore, en introduisant les eaux torrentueuses de la rivière dans le bassin de l'inondation ;

on avait remédié, il est vrai, en partie, à cet inconvénient en construisant dans la digue de retenue de l'inondation, en aval du pont, le long de la rive, un barrage éclusé de 50 mètres de longueur, qui avait coûté 181.000 fr. Les bombes de l'ennemi pouvaient encore enfoncer les voûtes du pont et couper ainsi la communication de la ville à la citadelle; le barrage n'était d'ailleurs couvert que très-imparfaitement des feux directs du côté d'aval, par les ouvrages de l'île du Tanaro. Tous ces inconvéniens firent adopter en principe la construction d'un avant-pont éclusé, en amont du premier, auquel celui-ci devait servir de masque. Ce nouveau barrage, mieux approprié à son usage, devait recevoir trois rangs de poutrelles, et offrir un pont de service en bois, de 3 mètres de large. Sa dépense était évaluée à 700.000 fr.

L'importance du barrage pour la défense de la citadelle avait encore fait projeter la construction d'une tête de pont dans la ville même, afin que l'ennemi, maître de celle-ci, fût astreint à un second siége avant de pouvoir détruire le pont. Cette dépense était évaluée 3 millions; lors de l'évacuation de la place en 1814, on avait déjà dépensé 230.000 fr. pour les fondations.

En résumé, la dépense nécessaire pour assurer l'éclusement du Tanaro, se compose, savoir :

Travaux faits.

Le radier du pont.	982.000	
Pont de service, poutrelles, etc.	47.000	
Estacades de garantie.	10.000	
Quais et déversoirs.	544.000	2.474.000 fr.
Travaux dans l'île du Tanaro. . .	480.000	
Fondations d'une tête de pont. .	230.000	
Barrage éclusé de la digue d'aval.	181.000	

En projet

Avant-pont éclusé.	700.000	
Tête de pont dans la ville	3.000.000	4.120.000 fr.
Achèvement des travaux dans l'île du Tanaro.	420.000	
Total général.		6.594.000 fr.

Avec cette dépense, on aurait eu 2 mètres d'eau dans les fossés de la citadelle, qui est un hexagone, et une inondation autour des glacis de 150 mètres environ de largeur moyenne, sur 2.400 mètres de développement, et 1^{m},50 de profondeur. Les eaux du Tanaro auraient été élevées de 3 mètres par le barrage. Les parties basses de la place auraient pu être inondées en même temps par ces eaux, si celles de la Bormida n'eussent pas été suffisantes.

Pour obtenir les mêmes résultats au moyen des machines à vapeur, il aurait fallu élever :

Pour l'inondation de la citadelle	5.400.000 mètres cubes d'eau
Pour les fossés.	229 400
Total. .	5.629.400

A 3 mètres de haut.

A cette hauteur, dix machines de douze chevaux, ou deux machines fixes d'une force équivalente, si leur emploi eût dû se réduire à ce seul usage, donneraient 264.400 mètres cubes par vingt-quatre heures, c'est-à-dire qu'en 21 jours, qu'on peut porter à 23 ou 24, pour tenir compte des pertes, on aurait obtenu le résultat demandé. L'achat des machines, évalué à raison de 1.500 fr. par cheval, aurait été de 180.000 fr., plus, 20.000 fr. environ pour les pompes à eau, total 200.000 fr.; et quand il aurait fallu dépenser autant pour les établir à l'épreuve de la bombe, la dépense totale n'aurait été que de 400.000 fr. au lieu de 6.594.000 fr. que devait coûter le projet complet de barrage. C'est une économie d'environ 94 p. $\frac{0}{0}$: le seul revenu du capital pendant un an aurait suffi pour payer la dépense des machines, et ce capital ne serait pas perdu. Il n'aurait pas fallu six mois, par ce moyen, pour mettre la citadelle en état de défense, tandis qu'après dix ans de travaux, le projet complet d'inondation par l'éclusement du pont n'était pas encore terminé. Les frais d'entretien n'auraient pas été plus grands pour les machines que pour le pont éclusé, puisque pour celui-ci, il fallait recharger tous les ans les enrochemens du radier; et conserver en état les poutrelles, poulies, treuils, cordages, etc., et un pont de service nécessaire à leur manœuvre. Une douzaine d'hommes aurait suffi pour le jeu des machines, au lieu de 12 à 15 cents qu'il aurait fallu pour la garde des ouvrages qui

couvraient le pont, le service du barrage et des estacades placées en avant, sans compter un matériel considérable d'approvisionnemens de toute espèce.

On aurait eu probablement, pour la défense de la ville, un avantage plus grand encore à élever les eaux du Tanaro au moyen de machines, plutôt que de détourner la Bormida par un canal de 6.000 mètres de long sur 50 mètres de large, et d'exécuter tous les barrages, digues, ponts éclusés et ouvrages défensifs auxquels cet immense travail a donné lieu.

Nous croyons avoir suffisamment prouvé l'avantage des machines à vapeur comme moyen d'élever l'eau pour la défense : on trouvera facilement dans chaque localité quel est le meilleur parti qu'on pourra en tirer, et désormais leur emploi nous semble devoir entrer comme élément essentiel dans le projet général de défense d'une place.

Du jet de l'eau.

Dans les divers emplois de l'eau pour la défense, on ne pourra pas toujours la faire arriver directement, par une pente continue, dans le bassin à remplir ou sur le point qu'on voudrait submerger : il faut donc pouvoir la lancer sous la forme d'un jet, de manière à lui faire franchir un certain espace; ce qui serait surtout nécessaire si l'on veut mettre l'eau en jeu contre les travaux de l'assiégeant. Cette application rentre, comme nous allons le voir, dans

le cas général de l'élévation de l'eau dans un réservoir.

Puisque l'effet d'une machine se mesure par le produit des deux élémens qui le composent, la masse et la vitesse, et qu'on peut faire varier à volonté ces deux facteurs sans changer le produit, il est donc toujours possible, avec une machine d'une force donnée, d'imprimer à une certaine masse d'eau une vitesse déterminée, de manière à lui faire franchir un certain espace : mais la vitesse que peut prendre une masse d'eau dans l'air est fort limitée, elle dépend de la résistance de l'air et du peu de cohésion qu'ont entre elles les molécules d'eau ; et, en effet, la résistance de l'air croissant comme le carré de la vitesse, et proportionnellement à la surface choquée, il peut arriver qu'en employant une grande vitesse initiale, la résistance de l'air divise la masse d'eau lancée, augmente ainsi la surface choquée, et par suite cette résistance elle-même ; jusqu'au point de transformer la masse d'eau en un brouillard épais, et de rendre sa portée beaucoup moindre que si on lui eût imprimé d'abord une vitesse plus faible. Un effet analogue a lieu lorsqu'on décharge un fusil à bout portant dans la terre ; la balle, lorsqu'elle est en plomb, s'aplatit par la résistance, et pénètre moins avant que si le fusil eût été tiré de plus loin, parce qu'alors la balle a une vitesse moins grande au moment de son entrée dans la terre, ce qui diminue la résistance.

Plusieurs expériences nous ont éclairés sur cette

question intéressante. Une pompe à incendie ordinaire, manœuvrée par 10 hommes, telle que celles en usage pour la ville de Paris, donne un jet de 80 pieds d'amplitude horizontale pour le *maximum* de portée sous un angle de 45°, avec une lance conique, et un ajutage de même forme percé d'un orifice de 6 lignes de diamètre. Le débit, calculé d'après plusieurs expériences, a été de 236 litres ou 7 pieds cubes environ, par minute; la pression dans le réservoir d'air, observée avec le manomètre, varie de 5 à 6 atmosphères. En calculant la vitesse au sortir de l'ajutage pour fournir au débit indiqué, on trouve qu'elle est d'environ 27 mètres, ou 83 pieds, par seconde; mais, chose remarquable, c'est qu'en appliquant 14 hommes à la même pompe, l'amplitude est restée toujours la même; cependant la pression dans le réservoir d'air était devenue tellement grande, que le manomètre s'est cassé : or, cette augmentation de pression donnait nécessairement à l'eau une vitesse initiale plus considérable; si donc on n'a pas obtenu une plus grande amplitude, c'est que la vitesse, dans le premier cas, était arrivée à son *maximum* d'effet, et que, dans le deuxième, on perdait inutilement la force de quatre hommes pour augmenter cette vitesse.

Des expériences faites sur le grand jet d'eau de Saint-Cloud conduisent au même résultat. La hauteur du réservoir qui alimente ce jet est de 172 pieds, ce qui correspond à une pression comprise entre 5 et 6 atmosphères. La conduite a 414 toises de déve-

loppement ; elle présente des pentes, des contrepentes, et suit toutes les sinuosités du terrain. Elle est formée de tuyaux de 8 et 10 pouces de diamètre, qui se réduisent à 5 pouces à l'endroit de l'ajutage : cet ajutage a 15 lignes $\frac{1}{2}$ de diamètre. La plus grande hauteur à laquelle s'élève le jet verticalement est de 131 pieds ; mais la masse d'eau principale n'est guère portée à plus de 125 pieds.

En plaçant sur la souche du jet un bout de tuyau conique dirigé sous l'angle de 45°, et en fixant à l'extrémité différens ajutages, on a eu les résultats suivans.

Tableau des portées du grand jet d'eau de Saint-Cloud sous l'angle de 45°.

DÉSIGNATION DES AJUTAGES.	RÉSULTATS	PORTÉES.	*OBSERVATIONS.*
Ajutage conique de 2 pieds de long, orifice 10 lignes.	La masse de l'eau tombe à 9 mètres au-delà de la grille du parc; à 13 mèt. de cette grille la pluie est encore assez forte.	43 et jusqu'à 47 mèt.	A 20 mètres environ de l'ajutage, la trajectoire commence à se diviser, et il s'en détache des molécules d'eau; à 30 et 35 mètres la dispersion est déjà notable; elle augmente de plus en plus jusqu'au point extrême où il n'arrive guère que la moitié de la masse d'eau, sous la forme d'une forte pluie.
Ajutage conique de 7 pouces $\frac{1}{2}$ de long, orifice 13 lignes $\frac{1}{2}$.	La masse de l'eau tombe à 13 mètres au-delà de la grille du parc, et l'eau arrive souvent comme par bouffées à 17 mètres.	47 et jusqu'à 51 mèt.	La masse d'eau que fournit cet ajutage paraît considérable et imposante; elle est plus forte que dans l'expérience précédente, mais la dispersion est plus grande.
Ajutage parabolique de 6 pouces de long, orifice 14 lig. $\frac{1}{2}$, prolongé par un cylindre de quelques lignes de long.	La grande masse de l'eau arrive à 13 mètres de la grille; la pluie est encore assez forte à 15 mètres.	47 et 49 mèt.	La dispersion paraît plus grande que dans les expériences précédentes.
Ajutage de même forme, orifice 15 lignes $\frac{1}{2}$	Même résultat.	47 et 49 mèt.	Même observation.
Ajutage de même forme, orifice 17 lignes.	La masse de l'eau arrive à 9 mètres de la grille; il faisait alors du vent dans le sens de la trajectoire qui portait quelquefois l'eau à 4 et 5 mèt. plus loin.	43 et 48 mèt. avec le vent.	L'augmentation du diamètre de l'orifice diminue d'une manière sensible la portée.

On a essayé aussi des ajutages cylindriques, et en mince parois; mais les portées qu'ils ont fournies sont moindres que les précédentes, et la dispersion a paru aussi plus grande.

La plus grande amplitude que l'on ait obtenue dans ces expériences est d'environ 150 pieds (1). Elle ne varie pas d'une manière sensible en inclinant l'ajutage de quelques degrés au-dessus ou au-dessous de 45°.

Supposons maintenant pour un moment, que la vitesse de l'eau à la sortie de l'ajutage soit la même que celle d'une pompe à incendie manœuvrée par 10 hommes. Les dépenses d'eau pour les deux cas devraient alors être entre elles comme la surface

---

(1) Mariotte, qui a fait aussi plusieurs expériences pour déterminer l'amplitude d'un jet d'eau sous l'angle de 45°, a trouvé que les trajectoires ne différaient pas sensiblement de la parabole, et que l'amplitude horizontale suit assez bien la proportion du double de la hauteur verticale du jet; d'où il résulterait qu'un jet d'eau de 131 pieds de hauteur, comme celui de Saint-Cloud, devait donner une portée de 260 pieds environ, au lieu de 150 qu'il donne réellement. Ce résultat montre combien il est dangereux de se servir des données mêmes de l'expérience hors des limites où elles ont été faites; et, en effet, Mariotte n'a expérimenté que des jets produits sous une très-petite charge, ou avec une vitesse initiale très-faible, auquel cas la trajectoire diffère très-peu d'une parabole, et l'amplitude réelle est aussi celle indiquée par la théorie; mais, lorsque les vitesses sont considérables, les vraies courbes que décrivent alors les jets, sont comme indéterminables par le calcul. La déperdition qui se fait le long de la trajectoire devenant très-grande, la résistance de l'air, au sommet de la courbe, agit avec plus de force contre la masse d'eau qui est aussi plus divisée; et, la branche descendante, au lieu de continuer à décrire une parabole, s'infléchit sur elle-même, et prend la forme d'une logarithmique ayant une verticale pour asymptote.

des orifices des ajutages; c'est-à-dire que le jet d'eau de Saint-Cloud débiterait environ 46 pieds cube d'eau par minute; or c'est à peu près ce qu'il donne effectivement, quoiqu'on n'ait pu le vérifier directement d'une manière assez exacte, car la vitesse due à la hauteur d'un réservoir de 172 pieds serait, d'après la théorie, de 101 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde, et la dépense correspondante par un ajutage de 15 lignes $\frac{1}{2}$ serait de 55 pieds cubes par minute; c'est la limite de la dépense réelle, et il s'en faut bien que ce soit la véritable, puisque la vitesse au sortir de l'ajutage, au lieu d'être réellement de 101 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde, a éprouvé toute la diminution qui résulte de la longueur et des sinuosités de la conduite qui sont ici considérables : ce n'est donc pas très-probablement caver trop bas que de supposer cette vitesse réduite à peu près à 83 pieds, c'est-à-dire la même que pour une pompe à incendie, auquel cas la dépense serait effectivement de 46 pieds cubes par minute. Quoique ces résultats n'aient pu être parfaitement tranchés, ils suffisent cependant pour indiquer que le *maximum* d'amplitude que peut prendre une masse d'eau dans l'air correspond à peu près à une vitesse initiale de 83 pieds, ou 27 mètres, par seconde; et qu'on peut, en général, obtenir cet effet avec une pression de 5 à 6 atmosphères, et avec un ajutage d'un orifice convenable placé à l'extrémité de la conduite.

Il est d'ailleurs facile d'expliquer pourquoi le jet d'eau de Saint-Cloud, quoique avec une vitesse ini-

tiale à peu près la même que celle donnée par une pompe à incendie, a une amplitude beaucoup plus grande; c'est que les gros jets se défendent mieux que les petits contre la résistance de l'air, dont l'effet est de produire une dispersion considérable de l'eau le long de la trajectoire.

Il suit de ce qui précède, que puisqu'on ne peut augmenter l'amplitude d'un jet, en augmentant la pression qui doit le produire, il vaut mieux employer l'excès de force, en sus de celle qui est nécessaire, pour lancer plus d'eau à la fois : ce n'est que par ce moyen aussi qu'on pourra obtenir une plus grande amplitude.

Ces données nous étaient nécessaires pour disposer notre machine de manière à lancer de l'eau. Si avec une force de 12 chevaux on peut élever $400 \times 12 = 4800$ pieds cubes d'eau à 1 pied de haut dans une minute, à une hauteur de 172 pieds, *maximum* de pression qu'il convient à peu près d'employer pour avoir la limite de la vitesse à la sortie de l'ajutage, la masse d'eau élevée ne pourra être que de 28 pieds cubes par minute (1). Le calibre des pompes à employer pour obtenir ce produit se trouve alors fixé par cette donnée. Il suffira en-

(1) Puisqu'il faut une machine de 12 chevaux pour lancer d'une manière continue 28 pieds cubes d'eau par minute, avec la vitesse *maximum*, le jet d'eau de Saint-Cloud, qui donne environ 46 pieds cubes, correspondrait donc à une force de 20 chevaux.

suite, pour que la dépense d'eau fournie par les pompes se fasse avec la vitesse d'environ 27 mètres par seconde, de rétrécir l'extrémité du tuyau de fuite par un ajutage d'un diamètre convenable, de manière que la pression dans le réservoir d'air reste toujours comprise entre 5 et 6 atmosphères. Il sera d'ailleurs facile d'obtenir ce résultat par tâtonnement, au moyen de quelques ajutages de rechange.

La machine disposée pour projeter l'eau est donc la même que pour remplir un réservoir ; seulement il faut, dans tous les cas, mettre en rapport la masse d'eau élevée et la hauteur à franchir, avec la force motrice employée.

Les expériences faites sur cette machine ont confirmé les résultats qu'on espérait en obtenir. Par le mouvement des pompes à double effet et du réservoir d'air, le jet est continu, et tel qu'une charge d'eau pourrait le produire. Avec un ajutage d'un orifice convenable on obtient dans le réservoir d'air une pression constante de 5 à 6 atmosphères, et la portée du jet varie alors de 36 à 40 mètres : malheureusement plusieurs défauts de construction dans le mécanisme ont empêché que les expériences ne fussent complètes. Par la disposition verticale des clapets, qui restaient souvent entr'ouverts, les pompes ne donnaient pas toute l'eau qu'elles devaient fournir, et elles n'agissaient parfois qu'à simple effet, quoique disposées pour l'effet double. La pression continue dans le réservoir d'air y a bientôt déterminé des fuites considérables qui ont empêché cette

pression de s'élever ensuite à plus de 4 atmosphères; ce qui a réduit la portée du jet à 30 mètres, et quelquefois à moins encore. Le tuyau de cuir disposé pour diriger le jet à volonté dans différentes directions, s'est crevé le long de la couture après quelques essais : il aurait fallu le refaire d'après un autre système; mais toutes ces réparations auraient exigées de nouvelles dépenses qu'on n'a pas voulu faire; les expériences n'ont donc pu être continuées.

Tout incomplètes qu'elles sont, elles suffisent cependant pour montrer quel jet l'on peut obtenir. Comme pour celui de Saint-Cloud, la dispersion le long de la trajectoire est considérable, mais la masse d'eau qui arrive à l'extrémité du jet est encore assez grande, et les témoins des expériences n'ont pas mis en doute qu'elle ne fût suffisante pour arrêter le travail d'une tête de sape, soit en agissant sur les hommes, soit en faisant écouler les terres des parapets, et en remplissant d'eau la tranchée. Il était facile d'ailleurs de conclure ces effets *à fortiori*, des expériences faites par M. la Jomarière avec une pompe à incendie, dont les résultats ont été décisifs, quoique avec une quantité d'eau incomparablement moindre (1). Les essais faits sur le grand jet d'eau

(1) On a dit qu'il était inutile de chercher à lancer plus d'eau que n'en donne une pompe ordinaire à incendie, puisque par expérience cette quantité suffisait pour arrêter une tête de sape; et, que si on voulait remplir d'eau les tranchées, quelques pom

de Saint-Cloud montrent aussi quelle est la portée que l'on peut obtenir en agissant avec une masse d'eau suffisante.

---

pes mues à bras d'hommes, offriraient moins de difficulté, d'embarras et de dépense que les machines à vapeur.

Si on ne considère que l'action de l'eau sur les hommes employés à une tête de sape pour les mettre dans l'impuissance de travailler, il est possible que la masse d'eau lancée par une pompe à incendie puisse suffire, nous voulons l'accorder; mais c'est moins ici contre les hommes qu'il faut agir, que contre la terre même qu'ils doivent élever; si en effet par l'action des eaux les travailleurs ne peuvent plus creuser le sol et élever la terre avec des pelles pour en former des parapets, une volée de mitraille sera ensuite pour eux bien plus redoutable, s'ils ne sont pas couverts, qu'une projection d'eau. Ces projections ne doivent être considérées que comme un moyen de porter l'eau dans les réservoirs que forment les tranchées, où des tuyaux continus ne pourraient atteindre; et, s'il était possible dans ce but de diriger sur l'assiégeant toutes les eaux d'un gros ruisseau ou d'une rivière, l'effet n'en serait que plus efficace et plus certain : la trop grande quantité d'eau mise en jeu ne peut donc pas être le sujet d'une objection réelle, mais plutôt le défaut contraire.

Quant à la nature de la force motrice à employer, elle ne peut être l'objet d'une discussion : la force de l'homme est évaluée par tous les auteurs à 111 ou 112 mètres cubes d'eau, à 1 mètre de haut dans une journée de 8 heures de travail effectif, ou au septième environ de la force d'un cheval ordinaire, qui, lui-même, n'équivaut, comme on l'a déjà dit, qu'au neuvième de l'effet continu d'un cheval de vapeur. D'après ces données, on peut calculer combien il faudrait d'hommes pour produire le même effet que 2 ou 3 machines de 12 chevaux, qui chasseraient l'eau dans une même conduite; la garnison entière d'une place suffirait à peine pour ce seul service, en supposant d'ailleurs qu'il fût possible de développer l'action d'un aussi grand nombre d'hommes agissant à la fois.

Si le vent est violent, et qu'il souffle toujours en sens opposé du jet, il serait un obstacle à ce moyen de défense ; car l'eau est alors presque entièrement dispersée, et se réduit en grande partie en un brouillard épais, surtout si on cherche à lui imprimer la vitesse correspondante au *maximum* de portée. Lorsque le vent souffle perpendiculairement à la trajectoire, il l'entraîne, et il faut la ramener continuellement sur le point à battre, au moyen d'un tuyau mobile. Le vent est au contraire très-favorable à la portée, s'il agit dans le même sens que le jet ; mais par un temps calme on ne peut guère compter que sur une portée de 40 mètres, qui peut aller jusqu'à 50, si la masse d'eau est aussi considérable que celle du jet d'eau de Saint-Cloud.

Une amplitude plus grande serait sans doute préférable pour atteindre de plus loin les travaux de l'ennemi ; telle qu'elle est, cependant, elle paraîtra encore suffisante, si l'on fait attention que la défense du fossé et de l'escarpe ne commence réellement que sur les glacis ; et, à cette période du siége, les armes de l'assiégé n'ont pas besoin d'une grande portée ; c'est ainsi que le jet de la grenade, qui n'excède pas 13 à 14 toises, peut encore être très-utile. Il ne sera même pas toujours nécessaire de donner aux projections d'eau le maximum d'amplitude ou de vitesse initiale pour qu'elles agissent efficacement (1) ; et ce serait un très-grand avantage,

(1) On a vu dans plusieurs siéges les sapeurs assiégeans et as-

puisque la même force motrice pourrait lancer une plus grande masse d'eau.

Enfin, au lieu de projeter l'eau, il suffira souvent de la déverser sur la crête des glacis pour imbiber le sol et inonder les tranchées, problème qui rentre dans le cas général de l'élévation de l'eau dans un réservoir.

Supposons, par exemple, que l'assiégeant, ayant embrassé dans son attaque un bastion et les deux demi-lunes collatérales, soit arrivé à la troisième parallèle, le relief de cette parallèle et celui des glacis des demi-lunes formeront un bassin naturel que l'assiégé pourra remplir d'eau afin de rendre impraticable tout ce bassin.

Souvent les eaux, quoique dirigées sur les cheminemens les plus avancés, pourront ensuite en s'écoulant avoir action sur ceux qui se trouvent en arrière, et, suivant la nature du terrain, la configuration du sol, la plus ou moins grande quantité d'eau qu'on pourra déverser, rendre ainsi toutes les communications impraticables. Peut-être, enfin, pour mieux imbiber le sol et s'opposer au creusement des tranchées, conviendra-t-il quelquefois d'employer les petits canaux souterrains de La Jomarière, les rigoles à la surface du sol proposées par Darçon, ou enfin labourer les glacis au

---

siégés, s'approcher d'assez près pour se disputer avec les crochets de sape les gabions des tranchées.

moment du siége pour les rendre plus perméables à l'eau.

Selon la disposition des ouvrages à défendre et la largeur de leurs fossés, on pourra quelquefois diriger l'eau de l'intérieur même de ces ouvrages dans le couronnement du chemin couvert et dans les batteries de brèche. Les brèches elles-mêmes peuvent être rendues impraticables en y déversant des masses d'eau considérables qui, entraînant les terres meurtries de leurs talus, n'y laisseraient bientôt que des blocs informes de maçonnerie difficiles à gravir, et à leur pied un cloaque presque infranchissable.

Tous ces moyens de mettre l'eau en jeu peuvent offrir quelque avantage : selon les localités et les circonstances de la défense, l'assiégé verra quel est le meilleur moyen de disputer la terre dont l'ennemi doit se couvrir pour arriver jusqu'à lui.

Quant aux dispositions accessoires à employer pour mettre les eaux en jeu dans la défense, on peut supposer qu'on aurait disposé à l'avance sur chaque front d'attaque une casemate ou un blindage, au centre de la courtine ou à la gorge de la demi-lune, avec un puisard alimenté d'une manière quelconque; et qu'au moment du besoin on y conduirait une ou deux machines à vapeur : trois files de tuyaux partant de cette casemate seraient dirigés au fond du fossé; l'une en capitale de la demi-lune, et les deux autres le long de la contrescarpe jusqu'aux saillans des bastions. L'eau ainsi amenée dans toutes les places

d'armes du chemin couvert serait ensuite dirigée sur les points à battre au moyen d'un tuyau flexible terminé par un ajutage. On peut former les conduits en tôle de cuivre pour en faciliter la pose, et les disposer par travées de 20 à 30 pieds selon leur poids : un petit blindage suffirait pour les abriter.

Il est difficile de prévoir où pourrait s'arrêter l'influence d'un tel moyen de défense, pour peu que la nature du sol lui soit favorable. L'histoire des siéges montre en effet quels obstacles les pluies ont opposés quelquefois à la marche des attaques.

On voit, par exemple, qu'au siége du Quesnoy, fait par les Français en 1794, il a fallu sept jours pour construire la deuxième parallèle par suite de pluies abondantes qui avaient inondé les tranchées ; et, le mauvais temps ayant continué, on cessa les travaux, et les deux partis restèrent deux jours dans l'inaction.

« Le 6 août, dit la relation de M. le général Marescot, » on travaille à la deuxième parallèle commencée dès la » nuit du 1^er^., et que la pluie avait inondée. Le mauvais » temps continue : un grand nombre de travailleurs » sont employés à couper des bois pour accommoder » les tranchées et les communications qui commencent » à devenir impraticables ; mais les voitures man- » quent pour transporter ces bois ; l'artillerie éprouve » les plus grandes difficultés pour la manœuvre, les » transports et l'approvisionnement de ses batteries.

» Le 7, on prolonge pendant la nuit la deuxième » parallèle.... ; on continue à enlever, des tranchées, » l'eau et la boue qui les rendent inhabitables.

» Le 8, on emploie la nuit à perfectionner la » deuxième parallèle... Pendant toute la journée, » le temps est mauvais à un tel excès, que tout » travail est forcément suspendu : les batteries » cessent de tirer; les assiégeans et les assié- » gés gardent le silence. Les tranchées sont im- » praticables, le soldat est dans la boue jusqu'aux » genoux. Les canons, les voitures d'artillerie res- » tent çà et là embourbés. Les bois coupés pour » consolider les tranchées n'ont pu être amenés, » parce que l'artillerie a distrait pour son service » particulier les voitures destinées à ce transport.

» Le 9, la nuit et le jour se passent à peu près d'une » manière aussi désagréable. Cependant, sur le soir, » le mauvais temps devenant un peu moins affreux, » nos batteries se raniment un peu; la place ne leur » répond que faiblement.

» Le 10, on débouche pendant la nuit à la sape vo- » lante de trois endroits de la deuxième parallèle et » sur les trois capitales.... On continue à enlever » l'eau et la boue qui abondent dans la tranchée, le » temps paraît se rétablir; nous tirons fort peu, la » place tire encore moins. »

Le siége de Valenciennes, par les Autrichiens et les Anglais en 1793, présente des résultats non moins remarquables. La deuxième parallèle, commencée dans la nuit du 18 juin, n'était pas achevée le 21, par suite de la pluie continuelle qui inondait les tranchées, et ce n'est que le 27 qu'on acheva les batteries commencées dans cette parallèle.

« Le 19 juin, dit la relation du général baron de Wurtemberg, commandant l'artillerie autrichienne du siége(1); la première parallèle était finie et armée de plusieurs batteries; il plut beaucoup ce jour-là et la nuit suivante, ce qui fit diminuer et cesser même le travail sur le soir, ainsi que le feu de part et d'autre. Mais le temps s'étant un peu remis dans la nuit, on continua à bombarder la ville.... Déjà, la nuit précédente, les ingénieurs avaient débouché en quatre endroits de la première parallèle en s'avançant en zig-zag. On finit cette nuit une partie de la deuxième parallèle en profitant d'un chemin creux...

» Le 20, le feu recommença de bonne heure...

» Le 21, malgré le mauvais temps, la pluie continuelle et la boue, les ingénieurs firent travailler partout avec la plus grande activité à la deuxième parallèle, qui fut presque entièrement achevée... On construisit plusieurs batteries;... l'artillerie continuait son feu avec violence; on avait cependant toutes les peines du monde à fournir les munitions aux batteries; les hommes et les chevaux ne pouvaient presque pas passer dans la tranchée par rapport à la boue.

» Le 23, on commence de construire 4 contre-batteries dans la deuxième parallèle, mais elles exigent beaucoup de travail.

---

(1) Cette relation a été traduite de l'allemand, par M. le chef de bataillon du génie, Souhait

» Le 24 au matin, ces 4 contre-batteries n'étaient » pas achevées : on arrangea tout de façon que la » nuit suivante les pièces et les munitions fussent » portées dans les autres batteries de la deuxième » parallèle, afin de commencer le feu général le » lendemain matin; mais la pluie abondante qui » tomba dans l'après-midi arrêta tout, et empêcha » même de finir les 4 contre-batteries.

» Le 25, les 4 contre-batteries étaient en état de » recevoir les pièces, quoique les embrasures ne » dussent s'achever que la nuit, on conduisit donc » ce soir les 32 pièces de 24 dans la tranchée; » mais, à cause de la pluie qui recommença et de la » boue qu'il faisait. On ne put, malgré toutes les » peines qu'on se donna, en mettre plus de 8 en » batteries; les autres restèrent dans la tranchée, » qui heureusement se trouvait assez large pour que » le passage n'en fût pas gêné...

» Le 26, il fallut faire les plus grands efforts pour » retirer de la tranchée et conduire dans les batte- » ries les pièces de 24 qui étaient fort engagées dans » la boue; ne pouvant pas y employer des chevaux, » on mit jusqu'à 200 hommes après une seule pièce, » pour en venir à bout : par bonheur l'ennemi ne » tirait pas beaucoup... Après que les 32 pièces de » 24 eurent été mises en batterie, on y transporta » avec bien des peines les munitions.

» Le 27, toutes nos batteries furent en état de » tirer. Dans la nuit suivante, les ingénieurs se pré- » paraient à déboucher de la deuxième parallèle par

» quatre sapes, et à s'approcher du glacis pour en » venir à la troisième parallèle ; mais la pluie ayant » repris sur le soir avec beaucoup de violence, on » n'entreprit rien. L'artillerie eut bien des peines à » porter aux batteries la quantité de munitions né- » cessaires, ce qui ralentit beaucoup le feu de la » nuit...

» Le 28, la pluie ayant cessé, le feu de nos bat- » teries recommença. »

Au siége de Lérida par les Français, en 1810, les eaux opposèrent aussi de grands obstacles aux travaux d'attaque ; ce n'est que huit jours après l'ouverture de la première parallèle que les batteries qui y furent construites purent entrer en action, et deux jours plus tard qu'on ouvrit la deuxième parallèle.

« Il plut beaucoup pendant les journées des 26 » et 27 avril, dit la relation de M. le lieutenant » général Haxo, les chemins en furent tellement » gâtés, que les convois d'artillerie n'arrivaient qu'a- » vec peine au camp : cela obligea de remettre au 29 » l'ouverture de la tranchée. On travailla en atten- » dant à fermer les canaux d'irrigation qui se diri- » geaient vers la ville, et dont les eaux inondaient » les terrains sur lesquels les attaques devaient être » conduites. Cette opération ne réussit pas complé- » tement, comme on le verra.

» Le 29, à l'entrée de la nuit, tout se trouva prêt » pour l'ouverture de la tranchée devant les fronts de » la citadelle compris entre la porte de la Madeleine » et le Haut-Sègre...

» Le 1^er^. mai, la première parallèle était achevée... On continua à travailler aux batteries... On perfectionna les communications entreprises en arrière de la parallèle. A deux heures après midi, un orage, accompagné d'une pluie abondante, interrompit entièrement le travail. La moitié de la parallèle, entre les batteries de canon et la batterie de mortier, devint impraticable, ainsi que la communication de la droite : on y avait de l'eau jusqu'à la ceinture. Il avait été impossible de prévenir cette inondation, parce qu'elle était causée par le gonflement des ruisseaux qui portaient au Sègre les eaux de la campagne ; il fallait bien que la parallèle les traversât, mais on aurait pu y soustraire la communication de droite, en évitant de la tracer dans la partie basse du terrain.

» Le 2 mai, les tranchées étaient tellement inondées, qu'il semblait qu'on serait obligé d'en abandonner une partie. On travailla sans relâche à en faire écouler les eaux. On établit pour cela un pont sur chevalets sous le parapet de la parallèle à l'endroit où elle traversait le ruisseau principal, qu'il était impossible de détourner, et au courant duquel on réunit tous les autres..... On s'occupait de perfectionner les ouvrages entrepris, et on espérait être bientôt débarrassé des eaux, lorsqu'un second orage inonda de nouveau les tranchées et les rendit impraticables.

» Le 3 mai, on perfectionna les ouvrages entre-

» pris ; le beau temps était revenu, le soleil dessé-
» chait les boues de la tranchée.....

» Le 6 mai, au cheminement de la Madeleine, on
» fit deux petits boyaux pour éviter le fond maré-
» cageux où l'on n'avait pu se couvrir... La nuit noire
» et la pluie favorisaient les approches, mais retar-
» daient les travaux de l'artillerie, dont les batteries
» auraient déjà dû se faire entendre depuis plu-
» sieurs jours..... L'artillerie acheva cette nuit d'ar-
» mer les quatre batteries construites dans la paral-
» lèle ; deux pièces de 16 y demeurèrent embour-
» bées et furent remplacées par deux mortiers.

» Le 7, à cinq heures du matin, les quatre bat-
» teries commencèrent leur feu.....

» Le 8, la pluie recommença avec plus de force
» que jamais, et dura toute la nuit; les tranchées
» furent de nouveau inondées et devinrent imprati-
» cables, en sorte qu'il fut impossible de tirer de la
» parallèle les deux pièces de 16 qui y étaient em-
» bourbées.... La pluie, continuant encore pendant
» toute la journée, rendit inutile tous les travaux
» entrepris pour rendre les tranchées praticables.

» Le 9, on refit en entier le pont sur lequel le
» parapet du sixième boyau traversait le ruisseau
» et que l'assiégé avait détruit à coups de canon;....
» le beau temps était revenu. »

Les pluies abondantes qui eurent lieu l'année dernière au camp de Saint-Omer, ont montré aussi quelle influence peuvent avoir les eaux pour retarder les travaux d'attaque.

« On ouvrit la tranchée contre le fort d'Euringhem, » la nuit du 4 au 5 août, » écrivait un officier du génie employé sur les lieux ; « les soldats travail- » lèrent d'abord avec ardeur ; mais la pluie ayant » commencé à tomber, leur zèle se ralentit à me- » sure qu'elle tombait avec plus de violence ; ils eu- » rent bientôt de l'eau presque jusqu'à mi-jambe, et » n'élevaient avec leurs pelles qu'une boue liquide » qui s'écoulait à mesure qu'ils en formaient le pa- » rapet. A deux heures du matin, la tranchée n'était » plus tenable ; les travailleurs se retirèrent sur le » revers de la parallèle pour attendre le jour ; on n'é- » tait couvert nulle part.

» Cependant, on devait lever le camp au mois de » septembre, et on avait peu de temps à donner au » simulacre de siége : il fallut donc travailler avec » activité ; on se décida alors à faire abstraction des » feux de la place pour ouvrir à découvert plusieurs » rigoles dans les directions où il était possible de » faire écouler les eaux. Ce travail dura trois jours, » et ce n'est que le 8 qu'on put rentrer dans la pa- » rallèle pour continuer la marche régulière des » cheminemens ; mais bientôt la pluie ayant recom- » mencé à tomber, la seconde parallèle devint im- » praticable, il fallut l'abandonner et employer deux » jours pour en faire écouler les eaux. La troisième » parallèle fut également inondée plusieurs fois, et » on ne put la rendre à peu près praticable qu'en » donnant aux canaux de desséchement une très- » grande profondeur ; on y enfonçait dans la boue

» jusqu'à mi-jambe ; les officiers et sous-officiers se » tenaient snr le revers de la tranchée pour ne pas » s'embourber ; on fut obligé de renoncer à la sape » pleine pour marcher à la sape volante.

» Les cheminemens sur les glacis offrirent encore » plus de difficulté ; les parapets, formés de boue, » s'écoulaient dans la tranchée ou s'affaissaient sous » leur propre poids ; il fallut refaire plusieurs fois » des portions entières de logemens, et y prodiguer » les fascines ; ce ne fut qu'avec la plus grande dif- » ficulté qu'on parvint à donner aux gabions assez » de stabilité pour qu'ils ne fussent pas renversés dans » la tranchée.

» Pendant tout le temps des travaux, il y eut » environ 200 travailleurs employés constamment » à parcourir les tranchées pour faire écouler les » eaux, et réparer les parapets ; malgré cette pré- » caution et un grand nombre de fascines que l'on » avait déposées au fond des tranchées, on n'a jamais » pu y faire passer les détachemens armés, ni même » les travailleurs ; les uns et les autres se rendaient » à leur destination à découvert des feux de la place. » L'artillerie n'a pu être conduite dans les batteries » que de la même manière, et plusieurs pièces sont » restées long-temps embourbées dans leur trajet.

» Enfin, ce siége ne put avoir lieu que parce qu'il » fallait terminer d'une manière quelconque la tâche » imposée aux troupes, et il est bien reconnu qu'il » eût été matériellement impossible en présence de » l'ennemi. »

Ces exemples suffisent pour montrer quels avantages on peut retirer de l'action des eaux pour retarder la marche des cheminemens dans un siége. Ce n'est qu'en creusant le sol que l'assiégeant peut arriver à couvert au pied des murailles qu'il doit ouvrir; la vitesse de sa marche dépend de l'avancement des 3 ou 4 têtes de sape, où les progrès du premier sapeur règlent tout le travail; ce sapeur, courbé sous le poids d'un pot en tête et d'une cuirasse, est obligé de ramper à genoux, et dans cette situation pénible peut à peine se servir de ses bras; quelles circonstances plus favorables à l'assiégé pour lutter avec succès contre de tels travaux!

Action de l'eau contre les mines.

L'art des mines peut changer entièrement de face si on y mêle le jeu des eaux; jusqu'à présent, ce n'est que par d'autres mines que l'on a cherché à combattre celles de l'assiégeant; il paraît plus simple encore, et d'un effet plus certain, de les éteindre par les eaux; et en effet, dès qu'un entonnoir de mine ou une galerie vient à être submergée, il est impossible d'en faire usage. Aussitôt que l'assiégé apercevra un puits de mine, une descente souterraine à sa portée, il cherchera donc à y diriger les eaux, soit par projection, soit par épanchement; si l'un de ces deux moyens ne peut lui réussir, il essaiera de faire sortir quelques hommes, qui, déroulant rapidement un tuyau léger en toile ou en cuir, porteront l'une des

extrémités dans le puits de mine, tandis que l'autre restera fixée à la conduite nourricière; en moins de cinq minutes l'appareil le plus complet de mine peut ainsi être annulé. De la même manière, si quelques galeries de la place doivent être abandonnées par une cause quelconque, on peut les rendre impraticables en les remplissant d'eau; et tous les travaux de l'ennemi, pour s'en rendre maître, tourneraient aussitôt contre lui en donnant issue aux eaux dans ses galeries.

La submersion des entonnoirs à la surface du sol peut encore donner lieu à de plus grands résultats; dans l'état actuel de l'art des mines, l'assiégé doit éviter de former lui-même des entonnoirs, puisqu'ils offriraient à l'ennemi des couverts avantageux pour entrer aussitôt en galerie ou cheminer plus rapidement à la surface du sol; mais si l'assiégé peut disposer des eaux, et que ses galeries soient formées d'une maçonnerie imperméable, il lui devient au contraire avantageux de couper autant que possible les glacis par des entonnoirs qui, tantôt secs, tantôt remplis d'eau à volonté, transformeraient en dernier résultat le glacis en un bourbier inextricable pour l'ennemi.

Ce n'est au reste que par des expériences continues et variées qu'on parviendra à établir la valeur de toutes ces chicanes, en agissant avec des masses d'eau assez grandes, et en faisant les essais dans des terrains de diverses natures : notre but n'est ici que de montrer combien peut être fécond l'em-

ploi des eaux dans la défense, et d'éveiller l'attention sur un moyen jusqu'à présent si négligé. C'était pour faire ces expériences, et toutes celles auxquelles peut donner lieu l'emploi des machines à vapeur dans les places, que le ministre de la guerre avait ordonné l'exécution du projet de machine que nous avons présenté; il est fâcheux que des raisons d'économie aient empêché de faire à cette machine les réparations qu'exigeaient ses défauts de construction.

§ III.

EMPLOI DES MACHINES A VAPEUR POUR LES TRAVAUX DES PLACES.

Ce n'est pas seulement en agissant contre les travaux de l'ennemi que les machines à vapeur peuvent être utiles dans les places; elles offrent encore d'immenses ressources pour l'exécution des travaux de fortification, en fournissant un moteur des plus puissans, très-commode à employer, et beaucoup plus économique que la force des hommes et des chevaux, la plus chère de toutes, et la seule dont on puisse ordinairement disposer. Les machines mobiles facilitent surtout cet emploi, puisqu'elles pourront agir tantôt sur un point, tantôt sur un autre, et varier même de position sur chaque atelier, de manière à satisfaire ainsi à tous les besoins. Pour cette nouvelle application, il ne se-

rait pas toujours nécessaire d'utiliser toute la force d'une machine de douze chevaux ; mais, en faisant varier la tension de la vapeur et la vitesse de la machine, on peut, selon les besoins, réduire cette force à une fraction déterminée, comme un, deux ou trois chevaux ; il serait possible, d'ailleurs, si on le juge convenable, d'avoir des machines d'un calibre moins fort, afin de les rendre plus légères, plus mobiles et plus commodes à employer.

Épuisemens.

Les travaux d'épuisement occasionent souvent des dépenses considérables dans les places. C'est en contre-bas des fossés, déjà creusés profondément au-dessous du sol, que l'on est obligé de fonder les murs de revêtement des ouvrages : or, il est rare qu'à une telle profondeur on ne rencontre pas des sources abondantes qu'il faille tarir par des machines. La construction des écluses, digues, barrages et autres travaux relatifs aux manœuvres d'eau, donnent lieu à des épuisemens plus grands encore (1). Il est donc intéressant d'évaluer quelle

(1) Lors de la construction du fort carré à Wesel, il y eut pendant long-temps 18 chapelets en activité. Aux épuisemens du pont éclusé, sur le Tanaro, à Alexandrie, on a employé jusqu'à 500 hommes jour et nuit, ce qui représente une force capable de faire mouvoir environ 120 chapelets ou machines équivalentes.

économie il peut résulter pour les épuisemens de l'emploi des machines à vapeur comparées aux machines en usage.

Le chapelet vertical, mu à bras d'hommes, est depuis long-temps la machine hydraulique la plus généralement employée dans les travaux, comme la plus simple, la plus facile à réparer, et celle qui occupe le moins de place sur les ateliers; elle donne d'ailleurs un aussi bon produit que la plupart des autres machines destinées à l'élévation de l'eau et manœuvrées par des hommes, telles que les vis d'Archimède, les pompes, etc. Or, d'après les expériences faites par Peronnet au pont de Neuilly et au pont d'Orléans, et celles auxquelles ont donné lieu les travaux de Wesel, il est reconnu qu'un chapelet vertical de 15 à 18 pieds de hauteur, mu par quatre hommes, se relevant toutes les deux heures, ou douze hommes pour le service continu, peut élever, terme moyen, 1.400 mètres cubes d'eau à 1 mèt. de haut en vingt-quatre heures. Le prix d'achat de la machine est de 500 fr., et les frais de réparations sont de 20 fr. environ par jour; la journée de manœuvre étant payée 1 fr. 75 c., et l'intérêt du capital devant être compté à raison de 10 pour $\frac{0}{0}$ par an, pour tenir compte de l'usure de la machine, la dépense d'un chapelet vertical peut être évaluée, par journée de travail, à 42 fr.: ce qui porte à 3 centimes le prix du mètre cube d'eau épuisé à 1 mètre de haut.

Si on suppose maintenant qu'une machine à va-

peur mobile travaille douze heures sur vingt-quatre, avec une force de six chevaux, son produit serait de $265 \times 6 \times 12 = 19.080$ mèt. cubes d'eau à 1 mètre de haut, c'est-à-dire égale à celui de 13 chapelets mus par 136 hommes travaillant jour et nuit.

La dépense de la machine à vapeur peut s'établir ainsi :

Par an.

Intérêt d'un capital de 25.000 fr., valeur de la machine, à raison de 10 p. % pour tenir compte de l'usure.	2.500	fr.
Idem, pour un capital de 1.500 fr, pour tuyaux de conduite.	150	
Frais d'entretien de la machine estimés à raison de 2 p. %.	500	
Huile, graisse, etc.	50	
Frais imprévus.	200	
Total par an.	3.400	fr.

Par jour.

Dépense de la machine, en comptant sur une campagne de 6 mois, ou 150 journées environ de travail effectif.	22 fr.	66 c.
576 kil. de charbon, à raison de 8 kil. par cheval et par heure, à 25 fr. les 1.000 kil. (1). . . .	14	40
1 journée de chauffeur mécanicien.	3	00
1 aide.	1	50
Menus frais.	2	00
Total par jour.	43 fr.	56 c.

(1) C'est le prix qu'il coûte dans toutes les villes de France, situées à 25 lieues des mines ; ce qui porte la voie de 15 hectolitres, pesant chacune 80 kil. à 30 francs. (Essai sur la construction des routes, par M. Cordier.)

Pour ce prix, on aurait donc le même résultat qu'avec treize chapelets, qui exigeraient une dépense de 520 fr., c'est plus de 90 pour $\frac{0}{0}$ d'économie : la dépense du mètre cube d'eau ainsi épuisé à 1 mèt. de haut, serait de $\frac{11}{100}$ de centimes, au lieu de 3 cent. qu'elle est avec les chapelets. En moins de deux mois de travaux on aurait gagné le prix de la machine à vapeur.

L'avantage ne serait guère moindre si on ne travaille qu'avec une force de 4 à 5 chevaux ; et même avec une petite machine de la force d'un cheval, suffisante pour faire en douze heures l'ouvrage de deux chapelets agissant d'une manière continue, l'économie serait encore de 70 à 80 p. $\frac{0}{0}$.

La machine à vapeur occuperait d'ailleurs moins de place sur les ateliers que des chapelets, et offrirait l'immense avantage de donner une très-grande latitude de force pour se rendre maître des eaux dans le cas où il se mainfesterait de nouvelles sources dans les fouilles, ou quelques avaries dans les batardeaux.

Transport des déblais.

L'application des machines à vapeur aux déblais fournit encore des résultats extrêmement remarquables : ces machines, déjà employées avec succès à l'extraction du minerai et au curage des ports, des canaux et des rivières, peuvent aussi être utilisées pour toute espèce de déblais : on en

retirerait surtout un très-grand avantage pour la construction des ouvrages de fortification ; car peu de travaux exigent des mouvemens de terre aussi considérables ; l'établissement d'un seul front de fortification peut donner lieu au déblai de 2 à 300.000 mèt. cubes de terre à 5 , 6 , et jusqu'à 10 mèt. de hauteur, en sorte que la moindre réduction dans le prix du mètre cube en apporterait aussitôt une très-grande dans le montant total de la dépense.

La machine à vapeur peut être employée à faire mouvoir une drague à chapelet disposée comme celle dont Perronet fit usage dans les travaux du pont d'Orléans , et que Cessart employa pour la construction de l'écluse de Dieppe ; c'est aussi selon ce mode que sont construites les nouvelles machines à curer , dites à l'anglaise.

Dans ces machines , deux chaînes sans fin et parallèles portent des hottes en tôle qui détachent la terre au moyen d'un bec saillant et tranchant , et l'enlèvent ensuite par un mouvement continu jusqu'au sommet du chapelet , où elles la déversent dans un auget.

Ici , pour rendre l'appareil moins lourd et susceptible d'être mobilisé sur tous les points d'un atelier , nous supposerons que la terre soit piochée à bras d'hommes, et amenée horizontalement au pied de la machine dans un trou entretenu constamment plein , au moyen de camions conduits par des hommes ou traînés par la machine ; les hottes se chargeront alors d'elles-mêmes et sans effort ; l'auget

qui recevra la terre au sommet du chapelet sera terminé par plusieurs branches inclinées, de manière à la distribuer à des ateliers de camions ou de tomberaux, qui achèveront de la conduire jusqu'au point du remblai ; une espèce de vantelle, placée à l'extrémité de chacune de ces branches, permettra de laisser couler la terre ou de l'arrêter à volonté. Il sera facile, dans chaque cas particulier, de régler les points de charge et de décharge, de manière à perdre le moins possible sur la hauteur à franchir ; on fera varier en conséquence le développement du chapelet, ainsi que la distance et le nombre des hottes.

Cette machine ne différerait donc essentiellement des dragues ordinaires à mouvement de rotation continu, qu'en ce qu'elle prendrait la terre toute piochée, au lieu d'en faire elle-même le déblai ; ce qui permet de la rendre beaucoup plus légère, et de l'établir dans une petite tourelle en charpente montée sur des rouleaux, afin de la changer à volonté de position dans le fossé, le long de l'escarpe ou de la contrescarpe ; il ne faudrait aussi qu'une force motrice assez faible pour la faire agir (1).

---

(1) Une machine semblable est employée en Angleterre par M. Brunel, pour les travaux du passage voûté sous la Tamise.

« Sur la plate-forme du puits qui descend à ce passage, » dit M. Schilk, dans son rapport à l'institut sur ces travaux, « on a » établi une machine à vapeur de la force de 36 chevaux, qui met » en mouvement une chaîne d'augets, jouant le rôle d'une ma-

Supposons que les hottes aient chacune une contenance de 32 litres (1 pied cube), et qu'on en place deux rangs sur le chapelet, afin de faire varier plus facilement, d'après la hauteur à franchir, la charge qu'aurait à supporter ce chapelet; enfin, qu'elles soient espacées de $0^m,65$ (2 pieds) sur la longueur des chaînes.

On peut admettre pour cette machine une vitesse d'environ 10 mètres par minute, ou qu'elle donne 15 versemens des hottes dans le même temps; cette vitesse ne serait guère que la moitié de celle qui a lieu ordinairement dans le transport vertical des terres au moyen du bourriquet, et dans les dragues à vapeur, à mouvement de rotation continu (1). Un chapelet pourrait donc élever ainsi environ 60 mètres cubes de terre dans une heure.

» chine à draguer, qui puise la terre creusée par les ouvriers, et » l'enlève pour la porter à la surface.... L'avancement de la gale- » rie est de 2 pieds en 24 heures; par la construction de ces deux » pieds, on enlève de 90 à 100 tonneaux (90 à 100.000 kil.) de » terre.... Le profit du déblai est de 37 pieds sur 22. »

Plusieurs ouvrages ont parlé aussi de cette machine qui tire horizontalement du fond de la galerie, sur une longueur de plus de 100 mètres, de petits chariots chargés de terre, et l'élève d'environ 20 mètres. Elle fait mouvoir en même temps les pompes nécessaires aux épuisemens.

(1) Dans une machine semblable, établie sur la Seine, à Paris, la roue qui porte les chaînes, et dont le diamètre est de 1 mètre, fait 6 révolutions par minute, et développe, par conséquent, 18 mètres courant dans le même temps.

Supposons que la hauteur à franchir soit de 10 mètres, et qu'il faille perdre 2 mètres sur la hauteur où les terres doivent être portées, afin d'opérer facilement la charge et la décharge des hottes; la force motrice nécessaire pour faire mouvoir un chapelet devrait alors être capable d'un effet de 60 mètres cubes à 12 mètres de haut dans une heure; or, un cheval de vapeur peut élever dans le même temps 265 mètres cubes d'eau à 1 mètre de haut; et, comme le poids de la terre est moyennement une fois $\frac{1}{3}$ celui de l'eau, il n'élèverait donc que 176 mètres cubes de terre environ à la même hauteur, ou seulement 14 mètres cubes à 12 mètres de haut; c'est-à-dire que, pour élever 60 mètres cubes à cette hauteur, produit d'un chapelet, il faudrait employer une force de 4 chevaux; mais comme on doit supposer qu'un tiers environ de la force motrice sera absorbée par la transmission du mouvement de la machine à vapeur au chapelet, et les frottemens de cette seconde machine, il s'ensuit qu'il faut compter sur 6 chevaux environ au lieu de 4 pour faire mouvoir un chapelet.

Devis d'un chapelet à hottes.

800 kil. de fonte de fer tournée, pour roue et pièces d'engrenage, à 1 fr.	800 fr.
600 kil. de fer forgé de sujétion, pour chaînes, axes, boulons, étriers, etc., a 1 fr. 40 c.	850
50 kil. de fonte de cuivre pour crapaudines, à 2 fr. 50 c.	125
Total à reporter.	1.775 fr.

D'autre part. . . .	1.775 fr.
800 kil. de tôle de fer de 1 ligne $\frac{1}{2}$ à 2 lignes d'épaisseur pour 80 hottes, pesant chacune 10 kil., à 1 fr.	800
4 mètres cubes de charpente en bois de sapin, avec assemblage pour le support du chapelet, à 60 fr. . . .	240
2 mètres cubes de charpente en bois de chêne, avec assemblage pour axes, rouleaux, etc., à 100. fr. . . .	200
12 mètres carrés de planches en chêne de 0^m, 04 d'épaisseur, pour auges et leurs conduits, à 7 fr.	84
Poulies et menues pièces.	150
Frais imprévus.	750
Total.	4.009 fr.

Supposons maintenant qu'on doive travailler avec une force motrice de 12 chevaux, capable de faire mouvoir deux chapelets à la fois; la dépense totale se composera de celle des chapelets et de la machine à vapeur.

Dépense pour un chapelet.

Par an.

Intérêt d'un capital de 4.000 fr. à raison de 10 p. $\frac{0}{0}$.	400 fr.
Frais d'entretien estimés à raison de 2 p. $\frac{0}{0}$. . . .	160
Frais imprévus.	140
Total par an.	700 fr.

Par jour.

En comptant sur une campagne de 6 mois, ou 150 journées environ de travail effectif.	4 fr. 66 c.
1 journée de charpentier ou de serrurier à 2 fr. 50.	2 50
3 aides à 1 fr. 50.	4 50
Total par jour.	11 fr. 66 c.

Dépense pour la machine à vapeur.

Par an.

Intérêt d'un capital de 25.000 fr. à raison de 10 p. %.	2.500 fr.
Frais d'entretien estimés à raison de 2 p. %.	500
Huile, graisse, etc.	50
Frais imprévus.	200
Total par an.	3.250 fr.

Par jour.

En comptant sur une campagne de 6 mois, ou 150 journées environ de travail effectif.	21 fr.	66 c.
1.152 kil. de charbon pour 12 heures de travail, à raison de 8 kil. par cheval et par heure, à 25 fr. les 1.000 kil.	28	80
1 journée de chauffeur mécanicien.	3	00
1 journée de manœuvre pour aide.	1	50
Menus frais.	2	00
Total par jour.	56 fr.	96 c.

Résultat.

Dépense pour la machine à vapeur. . .	56 fr.	96 c.
Idem pour deux chapelets.	23	32
Total par jour. . .	80 fr.	18 c.

Les machines élèveraient 120 mètres cubes de terre à 10 mètres de haut dans une heure, et dans une journée de 12 heures, 1.440; en réduisant ce nombre à 1.200 mètres cubes à la fouille, à cause du foisonnement qui est d'environ $\frac{1}{6}$; le prix du mètre cube de déblai pour le seul transport vertical à la vapeur serait donc de 0 fr. 066.

Or, d'après la nouvelle analyse modèle, le même transport pour 6 relais, à raison de $1^{m},60$ de hauteur verticale par relai, reviendrait :

A la brouette, ...	o fr. 648	(1).
Au camion.	o 398	
Au bourriquet à manége.	o 272	

Ainsi, le transport vertical à la vapeur offrirait donc, pour une hauteur de 10 mètres, une économie de 89 p. $\frac{0}{0}$ sur celui à la brouette qui est le plus généralement employé, de 83 p. $\frac{0}{0}$ sur celui au camion, et de 76 p. $\frac{0}{0}$ sur celui au bourriquet à manége, mu par des chevaux.

Dans les prix indiqués pour le transport à la brouette et au camion, ne sont pas compris les frais de construction et d'entretien des rampes en bois nécessaires au roulage, dépenses assez considérable qui seraient en moins pour le transport vertical à la vapeur. On doit encore observer qu'avec des rampes, la route que doivent suivre les brouettes ou les camions, est presque toujours déterminée par les localités; il en résulte souvent qu'il faut payer à l'entrepreneur un nombre de relais plus grand que celui qu'exigerait rigoureusement la différence de niveau des centres de gravité des déblais et remblais, combinée avec la projection horizontale de la distance qui sépare ces centres.

---

(1) Au bordereau de Paris, ce prix est de 1 franc 68 c.

Quant au nombre de bras qu'économiserait le nouveau mode indiqué, il serait considérable, car un rouleur ne pouvant guère élever dans sa journée plus de 15 mètres cubes de terre par relai de 1^m, 60 de hauteur, pour 6 relais il faudrait donc employer 6 hommes par 15 mètres cubes, et pour 1.200, ouvrage de la machine, ce serait 480 hommes. De quel avantage ne serait pas un tel procédé dans des besoins pressans de défense, où l'on manquerait à la fois de temps et de bras !

Pour des hauteurs au-dessous de 10 mètres, l'économie, quoique un peu moindre, serait encore très-considérable. Supposons, par exemple, une hauteur de 5 mètres : en comptant comme ci-dessus sur une perte de 2 mètres dans le chargement et le déchargement des chapelets, il faudra donc porter les terres à 7 mètres de haut. On trouve alors qu'il faudrait une force de 7 chevaux pour faire agir deux chapelets ; la dépense du mètre cube de terre pour le seul transport vertical, serait de 0 fr. 57.

Or, le même transport pour 3 relais $\frac{1}{4}$, à raison de 1^m, 60 de hauteur par relais, reviendrait d'après l'analyse déjà citée :

A la brouette.	o fr.	351
Au camion.	o	260
Au bourriquet à manége. .	o	253

Pour une hauteur de 5 mètres, le transport vertical à la vapeur, donnerait donc encore une économie de 83 p. $\frac{0}{0}$ sur celui à la brouette, et de 78 p. $\frac{0}{0}$ sur

celui fait au camion et au bourriquet à manége ; ainsi, dans tous les cas, ce mode de transport offrirait une économie considérable.

Supposons, par exemple, que la construction d'un front de fortification exige l'extraction de 250.000 m. cubes de terre à une hauteur moyenne de 5 mètres, ou 3 relais $\frac{1}{4}$, indépendamment de la distance horizontale à parcourir pour compléter le transport des déblais à l'endroit des remblais, distance qu'on peut supposer à peu près la même dans tous les cas ; la dépense de ce travail, exécuté avec des brouettes, mode de transport le plus en usage, serait, d'après ce qui précède, d'environ 87.000 fr., tandis qu'avec les machines à vapeur, elle ne serait que de 14.250 fr. ; l'économie sur ce seul travail serait d'environ 72.750 fr. ; or, la machine à vapeur et les deux chapelets à hottes ne coûteraient que 33.000 fr. Il en résulte qu'avant la moitié du travail on aurait déjà gagné la valeur des machines.

L'intérêt du capital de la machine à vapeur entre pour beaucoup dans le prix du transport des terres ; il y aurait donc en général de l'avantage à utiliser toute la force de cette machine ; mais, puisque pour de petites hauteurs on n'en peut employer qu'une fraction déterminée, il serait alors préférable, pour retirer toute l'économie possible du transport vertical à la vapeur, d'avoir des machines d'un petit calibre dont le prix serait moindre. Cependant, comme dans les machines les premiers chevaux coûtent beaucoup plus cher que ceux qui les suivent,

il y aurait bientôt une limite dans la réduction de la force de la machine à employer, au-dessous de laquelle il ne serait plus avantageux de descendre. Une machine un peu forte donne d'ailleurs une plus grande latitude pour embrasser tous les cas qui peuvent se présenter, et, sous ce rapport, elle devient même d'un usage plus économique.

Débit des bois. — Battage des pilots.

Le débit des bois dans une place assiégée, exige souvent l'emploi d'une très-grande force; ce n'est ordinairement que dans les forêts qu'on peut se procurer un approvisionnement de bois aussi considérable que celui nécessaire à la mise en état de défense d'une place; les arbres arrivent en grume, tels qu'on vient de les abattre, et c'est ensuite à bras d'hommes qu'il faut les débiter, ce qui exige beaucoup de temps et d'ouvriers au moment où l'on doit en être le plus avare.

A Baïonne, lors du blocus de 1813, il y eut jusqu'à quatre-vingts ateliers de scieurs de long qui travaillèrent pendant plus d'un mois au débit des bois en approvisionnement; plusieurs places offrent des exemples semblables : tandis que quelques lames de scie, mues par une machine à vapeur, peuvent faire tout ce travail. Les applications du sciage à la vapeur dans les chantiers de Portsmouth, en Angleterre, ne laissent d'ailleurs aucun doute sur l'avantage de ce procédé : on l'a pratiqué aussi

en France, dans quelques usines, et le vingtième bulletin de la Société d'encouragement décrit une machine d'une force de 6 chevaux qui fait mouvoir deux cadres et deux lames de scie, donnant 400 pieds carrés de surface de sciage en une heure; or, les meilleurs scieurs de long ne peuvent faire que 10 pieds dans le même temps, d'où il résulte qu'une scierie mécanique de 6 chevaux peut faire l'ouvrage de quarante ateliers de scieurs de long, ou de cent vingt hommes. Dans les deux cas, on ne doit compter que sur la moitié du produit, à cause du temps employé pour les remplacemens.

Une machine de 12 chevaux, affectée pendant quelque temps au sciage des bois dans une place assiégée, suffirait donc au delà de tous les besoins: l'établissement d'un chariot et des cadres de scie n'offre d'ailleurs aucune difficulté, et peut se faire en très-peu de temps.

L'emploi d'une machine à vapeur ne serait pas moins utile pour toutes les manœuvres de force qu'exigent les grands travaux. Ainsi, dans la construction du pont Sainte-Maxence, Perronet fit usage d'une roue à aubes, mue par le courant de la rivière, qui mettait en action une roue à godets pour les épuisemens, et faisait agir en même temps deux moutons à déclic du poids de 2.000 livres chacun; il employa encore la roue d'un moulin pour faire mouvoir deux autres machines semblables: « En sorte, » dit cet ingénieur, que quand il y aura moyen » d'établir de pareilles machines sur les rivières, et

» cela aura souvent lieu, on pourra battre tous les » pilots de la fondation d'un pont, en n'y employant » que trois hommes par sonnette; et on pourra » aussi, avec le même moteur, lever les pierres » aux grues, comme on l'a également pratiqué au » même pont de Sainte-Maxence. » On sait, d'ailleurs, quelle immense économie il peut résulter de l'emploi des sonnettes à déclic sur les sonnettes ordinaires mues à bras d'hommes.

Les travaux du nouveau pont de Bordeaux ont montré aussi quelles ressources on pouvait tirer d'un moteur puissant sur un grand atelier. Comme Perronet, le savant ingénieur chargé de la direction de ces travaux, n'a pas manqué de profiter du courant de la rivière pour toutes ses manœuvres de force; il l'utilisa encore pour la fabrication en grand du mortier, ce qui produisit une économie considérable.

Une machine à vapeur mobile permet d'obtenir ces avantages dans toute espèce de localité.

Mouture des grains.

La mouture des grains dans une place assiégée offre souvent les plus grandes difficultés; c'est plutôt en grain qu'en farine qu'on complète l'approvisionnement d'une place menacée d'un siége, parce qu'il est beaucoup plus facile à faire, et qu'il se conserve ensuite indéfiniment; mais alors il faut avoir sur les lieux de puissans moyens de mouture;

et, comme il arrive presque toujours, si cet approvisionnement ne s'est fait qu'au dernier moment, il donne lieu à de grands travaux pendant le siége; en effet, il ne faut pas moins de 6.666 quintaux métriques de grain pour l'approvisionnement d'une garnison de 6000 hommes pendant six mois (1); et si l'on compte les doubles rations pour les officiers, les bouches inutiles et une réserve pour les habitans, aux besoins desquels il faut bien pourvoir en définitif, si on ne veut pas qu'ils se tournent contre la garnison, il ne suffirait pas, dans beaucoup de cas, de doubler l'approvisionnement nécessaire aux soldats. Or, il est bien rare qu'on trouve dans une place forte assez de moulins pour un tel travail; des chutes d'eau, une position favorable pour utiliser la force du vent, déterminent presque toujours leur emplacement hors de l'enceinte d'une ville, et la première opération de l'ennemi, dès qu'il s'en approche, est de s'emparer des moulins; les défenseurs sont alors réduits à se servir de moulins à bras, bien faible ressource (2), ou à briser leurs grains en-

---

(1) On compte qu'un quintal métrique de grain peut donner 162 rations.

(2) Un bon moulin à bras mû par deux hommes, tel que celui de Durand, perfectionné, adopté en 1823 pour le service des troupes, ne peut donner, expérience faite, que 413 rations par 24 heures; d'où il suit que, pour fournir à 6.000 bouches, il faudrait 15 moulins en activité, et 90 hommes pour un travail continu. Or, si ces moulins sont bien faits, et si il ne leur arrive au-

tre des pierres, comme on en trouve plusieurs exemples dans l'histoire des siéges; c'est cependant d'une bonne mouture que dépend surtout la qualité du pain, base essentielle de la nourriture des soldats, qu'il importe surtout de soigner, pour les soutenir au milieu des privations et des fatigues de tout genre qui résultent pour eux de l'état de siége.

Mayence s'est rendue en 1793 faute de moulins; l'ennemi avait arrêté ceux de la ville en détournant le Zahlbach, qui les faisait tourner, et onze autres

---

cun accident, ce qui est assez rare, ils ne peuvent moudre plus de 40 quintaux métriques de grain sans être hors de service; pour 6 mois il en faudrait donc 166, qu'on doit porter au moins à 200, à cause des remplacemens. Quelle place en contient jamais une telle quantité!

Ajoutez encore que dans ces moulins, la farine, se formant par l'incision du grain entre les dents métalliques d'une roix qui tourne dans un boisseau, ne se détache qu'imparfaitement du son, absorbe moins d'eau et donne beaucoup moins de pain, tandis que par le broiement du grain entre deux pierres, comme dans les moulins ordinaires, la farine se détache complétement, et se pulvérise davantage; combinée ensuite avec l'eau, elle lui présente plus de surface et en absorbe par conséquent une plus grande quantité, d'où il résulte une manutention plus prompte et des produits plus abondans. On estime que, pour cette dernière espèce de mouture, 200 livres de farine blutée à $\frac{1}{10}$ de son, peuvent donner 180 rations, tandis qu'avec la première on n'en obtient que 166, et encore d'une qualité inférieure; c'est une différence de 8 pour $\frac{0}{0}$, économie importante pour l'approvisionnement d'un siége.

moulins établis sur bateaux au-dessous du pont du Rhin furent détruits par le canon.

Le fort Vauban, sur le Rhin, s'est également rendu, en 1793, faute de moyens de mouture. « Il y » avait encore du blé en magasin, dit la relation de » M. le général du génie Chambarlhiac, mais il n'y » avait pas de farine suffisamment pour nourrir la gar- » nison deux fois vingt-quatre heures : on n'avait que » des moulins à bras, dont six n'étaient que des égru- » geoirs en forme de moulin à café, et deux autres » avec de très-petites meules ; ce qui produisait très- » peu de farine, exigeait beaucoup de bras depuis le » commencement du blocus, et ne fournissait pas la » cinquième partie de ce que pouvait consommer la » garnison, évaluée à 3600 hommes, auxquels il fal- » lait joindre 1200 habitans au moins, ce qui forme » un total de 4800 bouches à entretenir par jour. Il » n'était plus possible de subvenir au besoin de tant » de monde. »

A Glogau, pendant le blocus de 1813 et 1814, la garnison française, n'ayant aucun moyen de mouture, fut obligée de construire de toutes pièces un moulin à manége de 8 chevaux pour 2 paires de meules, 1 moulin à vent et 2 moulins à eau sur bateaux. Ces machines réussirent très-bien, et font sans doute l'éloge de l'industrie éclairée des ingénieurs qui en dirigèrent la construction ; mais serait-il prudent de compter toujours sur de tels efforts ? Il est d'ailleurs contraire à la défense de remettre à l'époque d'un siége l'exécution des travaux de

cette nature, qui exigent beaucoup de temps, des ressources de toute espèce, et qui paralysent des bras et des moyens qu'il vaudrait mieux employer contre l'ennemi.

Les machines à vapeur mobiles permettront de résoudre ce problème important. Il est facile, en effet, à l'approche d'un siége, de démonter les moulins qui se trouvent aux environs d'une place pour les établir dans l'intérieur, et au moment du besoin les machines à vapeur les feront mouvoir. Dans les moulins dits à l'anglaise, une force de 4 chevaux suffit pour faire tourner, avec une vitesse de 120 tours par minute, une meule de 4 pieds de diamètre sur 8 à 10 pouces de hauteur, et faire agir encore tous les accessoires, tels que blutoirs, tarares, tire-sacs, etc. Leur produit est de 220 à 230 livres de farine en une heure; une machine de 12 chevaux, appliquée à 3 tournans, pourrait donc donner 16.560 livres de farine en 24 heures, ce qui suffirait pour 14.500 rations, c'est-à-dire, plus du double de ce qu'il faudrait par jour, pour une garnison de 6.000 hommes.

§ IV.

APPLICATIONS DES MACHINES A VAPEUR AUX BESOINS DES ARMÉES.

On peut tirer encore de grands avantages de quelques petites machines à vapeur d'une force de 5 ou 6

chevaux, traînées à la suite des armées, soit pour élever l'eau dans les fossés des ouvrages de campagne, soit pour moudre les grains (1).

Souvent il faut mettre en état de défense d'anciens postes fortifiés dont il ne reste que les masses de terre, ou des places du moment élevées par les troupes pour appuyer leurs opérations. Des palissades au fond du fossé et des fraises sur la berme, sont de bien faibles obstacles qui ne peuvent mettre des ouvrages en terre à l'abri d'un coup de main; le meilleur moyen de suppléer à un mur de revêtement est sans contredit de mettre 6 pieds d'eau dans les fossés; c'est ce qu'il est facile d'obtenir par les machines à vapeur. S'agit-il, par exemple, de remplir les fossés d'une place en terre de la valeur d'un décagone, en élevant l'eau d'une rivière voisine à 20 pieds de hauteur moyenne. La capacité des fossés exigerait environ 8.000.000 pieds cubes pour avoir une profondeur de 6 pieds d'eau. Or, une seule machine de 6 chevaux ne pouvant donner à une hauteur de 20 pieds que 172.000 pieds cubes par jour, il faudrait la faire travailler 48 jours, ou, ce qui vaudrait mieux, en avoir quatre pour terminer l'opération en moins de 12 jours. Une seule machine suffira ensuite pour remplacer les pertes occasionées par l'évaporation et les filtrations.

---

(1) Le poids d'une machine de 6 chevaux ne dépasserait pas celui des plus lourdes voitures d'artillerie de campagne.

Supposons encore qu'une armée, après avoir franchi un fleuve et élevé une tête de pont pour couvrir son passage, veuille mettre cet ouvrage hors d'insulte pour continuer ses opérations, en ne laissant que très-peu de troupes dans la tête de pont, de peur de s'affaiblir; les machines à vapeur en réserve au parc du génie seront employées à mettre 6 pieds d'eau dans les fossés. En supposant que ces fossés aient 300 toises de développement sur 5 toises de largeur moyenne, il faudrait 324.000 pieds cubes d'eau pour les remplir; si la hauteur à franchir est de 10 pieds, deux machines pourront élever cette masse d'eau en moins de 12 heures, et le général en chef pourra s'éloigner de son pont sans avoir à craindre qu'il lui soit enlevé.

Les machines à vapeur mobiles peuvent être encore extrêmement utiles aux armées pour la mouture des grains; on sait quelles difficultés présente souvent cette opération: la campagne de Pologne, en 1806, en offre un exemple frappant. Après la bataille d'Iéna, nos troupes victorieuses ayant franchi l'Oder, chassant devant elles les débris de l'armée prussienne, entrèrent en Pologne; le 28 novembre elles arrivèrent sur la Vistule, où elles prirent leurs quartiers d'hiver; d'immenses travaux furent entrepris pour couvrir les ponts depuis Varsovie jusqu'à Thorn; les avant-postes s'étendaient sur les bords du Bug et de la Narew. Un corps d'armée était resté en Silésie pour faire le siége des

places que nous avions laissées sur nos derrières dans notre marche rapide.

Dès notre entrée en Pologne la disette de pain s'était fait sentir, elle devint bien plus grande encore dans les cantonnemens. Le pays regorgeait de blé, mais on ne pouvait s'en servir faute de moulins; il n'en existait qu'un très-petit nombre que les Russes, fidèles à leur système de dévastation, avaient brûlés; nos troupes furent donc obligées de vivre comme les serfs que les seigneurs nourrissent de pommes-de-terre, et de sarrasin écrasé entre des pierres, préférant vendre le blé qu'ils récoltent; mais une dyssenterie générale fut bientôt le résultat d'une nourriture aussi malsaine; l'armée s'affaiblit beaucoup, et devint incapable de rien entreprendre. Ce ne fut guère qu'un mois après notre arrivée sur la Vistule que le corps de Bernadotte, ayant envahi les bords de la Baltique jusqu'à la Passarge, nous trouvâmes à Elbing, petite ville située à l'embouchure de l'un des bras de la Vistule, une immense quantité de riz qui remit un peu nos soldats.

Nous restâmes dans cette situation environ cinq mois, occupant une ligne de 80 lieues d'étendue afin de pouvoir subsister; et ce ne fut qu'au mois de juin 1807 que les deux armées, qui s'étaient mesurées à Pulstuck et à Eylau, sortirent définitivement de leurs cantonnemens pour reprendre les hostilités, qui se terminèrent par la paix de Tilsit.

Plusieurs campagnes offrent des exemples sem-

blables de disette faute de moulins; malheureusement on n'a encore pu trouver aucun moyen d'y remédier; et les Anglais eux-mêmes, malgré les soins qu'ils prennent de leurs troupes, malgré le perfectionnement de leurs arts mécaniques, ne sont pas plus avancés que nous sur cette question. Les moulins à bras sont d'une ressource trop faible et trop précaire pour qu'on puisse y compter; ceux qui furent transportés inutilement à la suite de nos armées dans les campagnes d'Espagne et de Russie ne confirment que trop cette assertion. Peut-on d'ailleurs astreindre le soldat, harassé par les marches et les fatigues de la guerre, à un travail aussi long et aussi pénible que la mouture des grains; et n'est-il pas à craindre que, fatigué d'un instrument qui n'est pas entièrement destiné à son usage personnel, et dont l'emploi n'est qu'accidentel, il ne s'en débarrasse à la première occasion, et que le moulin, transporté lorsqu'il était inutile, ne se trouve souvent perdu au moment du besoin.

Les moulins ordinaires, à meules en pierre, sont les seuls qui puissent remplir toutes les conditions, mais il faut une grande force pour les faire mouvoir. Les machines à vapeur mobiles permettent d'en faire usage; il est facile en effet d'organiser sur un chariot un moulin de l'espèce de ceux dits à l'anglaise, dont les meules, d'un petit diamètre, mais animées d'une très-grande vitesse, donnent un produit considérable. Une machine à vapeur de 6 chevaux pourrait faire tourner deux moulins

semblables, puisqu'ici les manœuvres accessoires au moulin proprement dit sont inutiles. Le poids d'un de ces moulins serait d'environ 5.000 livres, ce qui ne dépasse pas la charge d'un ponton avec son haquet; leur produit pouvant être de 230 livres de farine en une heure, comme pour les moulins fixes, deux moulins donneraient donc 10.000 rations environ par 24 heures. De quelle ressource ne serait pas un tel équipage à la suite des armées!

RÉSUMÉ.

On peut apprécier maintenant tous les services que peuvent rendre les machines à vapeur mobiles; mises en jeu hors de l'enceinte d'une place, elles peuvent former des inondations dans des bassins naturels et artificiels, de manière à rendre inattaquables plusieurs fronts; rentrées à l'intérieur, elles rempliront les fossés pour préparer toutes les manœuvres d'eau qu'on pourra faire contre les travaux de l'ennemi; elles seront conduites près des moulins préparés pour opérer la mouture des grains en approvisionnement, près des scieries qui doivent débiter tous les bois nécessaires à la défense; enfin, lorsque l'ennemi, ayant développé ses attaques, cheminera sur les glacis, elles reviendront sur les points menacés pour mettre directement les eaux en jeu contre lui, inonder ses tranchées, ses batteries, ses entonnoirs de mines, et défendre la terre dont il chercherait à se couvrir. La plupart de

ces travaux seraient inexécutables à bras d'hommes, ou exigeraient une armée entière pour être faits dans le temps convenable, tandis que quelques machines à vapeur peuvent satisfaire à tous ces besoins.

Ces machines, préparées pour le moment de la défense, ne seront cependant pas oisives en temps de paix ; dirigées sur de grands ateliers, elles serviront à élever les remparts derrière lesquels elles devront par la suite rendre des services plus signalés ; on les emploiera aux épuisemens, au battage des pilots, au transport des déblais, à la fabrication des mortiers ; et, les prix de ces travaux, réduits de moitié ou des trois quarts de ce qu'ils coûtent par les moyens ordinaires, offriront des économies qui auront bientôt payé avec usure la dépense des machines.

Elles ne seront pas moins utiles dans les travaux des arsenaux, et pourraient même être livrées à l'industrie particulière ; appliquées surtout aux irrigations, elles donneront d'immenses bénéfices. Combien, en effet, de terrains qui, s'ils étaient arrosés, doubleraient ou tripleraient de produit (1).

---

(1) M. de Chabrol, préfet de la Seine, a présenté, dans ses recherches statistiques sur la ville de Paris, quelques calculs à ce sujet. Il propose de se servir de machines à vapeur, montées sur bateaux, pour les conduire à volonté sur tous les points d'un cours d'eau navigable, de manière à arroser les campagnes riveraines. Une machine de la force de 50 chevaux, ainsi disposée, fournissant 1.500 pouces d'eau pour un sol dont l'élévation ne se

Certes, il est difficile de trouver un moyen plus fécond en résultats, un auxiliaire plus puissant, dont les services soient plus étendus et plus signalés. Les machines à vapeur mobiles sont une véritable conquête pour la défense des places; c'est donc moins sur leur utilité que nous devons main-

---

rait pas à plus de 50 pieds au-dessus du niveau des eaux, suffirait pour l'arrosage de 50 hectares en 24 heures : la dépense totale pour ce temps serait au plus de 150 francs, en sorte que l'arrosage d'un hectare n'irait pas au-delà de 3 francs, somme modique dans le cas même où une sécheresse prolongée exigerait de fréquens arrosemens.

Le même moyen s'appliquerait encore à la distribution des eaux dans les villes, villages, maisons de campagnes, situées sur le bord des rivières : ainsi, on a calculé que pour jouir de cet avantage, dans la banlieue de Paris, il faudrait 6 réservoirs de 30.000 mètres cubes chacun, et 2 machines de 100 chevaux, montées sur bateaux, dirigées successivement d'un réservoir à l'autre, et élevant 1.200 pouces d'eau à une hauteur moyenne de 150 pieds; il suffirait que ces machines fussent en action pendant 200 jours. On aurait à établir un développement de conduites d'environ 94.000 mètres, ce qui occasionerait une dépense de 2 millions : la construction des 6 réservoirs coûterait 600.000 francs; on en dépenserait environ 800.000 pour les bateaux avec leurs machines, ce qui élèverait les frais à 3 millions, dont l'intérêt devrait être de 200.000 francs, y compris l'amortissement; à cette somme on joindrait 70.000 francs pour dépenses d'entretien, et un peu moins pour les salaires; total, 330.000 francs pour intérêt des capitaux. En vendant les 1.200 pouces, à raison de 500 francs pour 200 jours, on aurait encore un bénéfice annuel de 270.000 francs.

Les machines à vapeur, montées sur chariot, permettent d'étendre à tous les cours d'eau l'emploi d'un procédé aussi avantageux.

tenant insister, que sur les moyens de les perfectionner pour les rendre moins lourdes, moins embarrassantes, plus simples encore s'il est possible.

Ici se présente une vaste carrière à parcourir. Il est impossible en effet dans un premier essai, d'arriver de suite au meilleur résultat; ce n'est qu'avec le temps, une étude suivie, des observations continues que tout se perfectionne; c'est ainsi qu'ont eu lieu toutes les améliorations dans les arts. Combien, par exemple, de temps et d'efforts n'a-t-il pas fallu pour porter nos armes, quoique très-simples, au degré de perfection où elles sont aujourd'hui? Dans l'état actuel de la mécanique, les machines mobiles peuvent être portées rapidement au plus haut degré de perfection; le projet que nous présentons ne doit être considéré d'ailleurs que comme un point de départ pour les perfectionnemens; il offre en effet une foule de questions de détails qui n'ont pu être résolues entièrement dans une première construction.

La chaudière surtout doit être étudiée avec de nouveaux soins; c'est une des pièces les plus essentielles de la machine, puisque c'est là que se produit la force motrice; mais c'est aussi la plus embarrassante par son volume et par son poids. Ses dimensions ont été calculées par la condition d'offrir une surface de chauffe suffisante pour la production de la vapeur nécessaire au jeu de la machine, et un réservoir d'une certaine capacité pour la vapeur déjà formée; or, il est possible de remplir

ces conditions sous un moindre volume. La règle de Watt est de donner aux chaudières 5 pieds carrés de surface de chauffe par force de cheval; on porte souvent cette surface jusqu'à 1 mètre, ou 9 pieds carrés, pour être plus certain d'avoir assez de vapeur, et parce qu'on a reconnu l'avantage, pour l'économie du combustible et la durée des chaudières, d'un feu doux plutôt que très-intense; c'est aussi cette limite maximum que nous avons adoptée. On a reproché cependant à notre chaudière d'être trop petite; il serait plus vrai de dire que la machine, par l'imperfection du régulateur, n'utilise pas la vapeur fournie par la chaudière : le foyer est aussi trop resserré; mais, en corrigeant ces défauts, il est certain qu'on pourrait réduire la longueur de la chaudière de 2 à 3 pieds; ou, si l'on conserve cette longueur, donner à la machine une force de 2 à 3 chevaux de plus.

Les chaudières des machines à vapeur locomotives, en usage en Angleterre, ne laissent aucun doute à cet égard. En effet, d'après la description qu'en donne M. Héron de Villefosse, dans la *Richesse minérale*, ces chaudières ont $2^{m},75$ de long et $1^{m},30$ de diamètre; leur surface de chauffe n'est que de 4 mètres, et une seule de ces chaudières suffit pour alimenter 2 cylindres de 9 pouces de diamètre et 2 pieds de course du piston, travaillant à double effet, à haute pression et sans conducteur, comme dans notre machine; la capacité réunie des deux cylindres, d'où dépend la consommation

de la vapeur, est de 80 litres; tandis que le seul cylindre de notre machine n'offre qu'une capacité de 52 litres, et est alimenté par une chaudière ayant environ 12 mètres carrés de surface de chauffe.

Il résulte également, du Mémoire de M. Marestier, sur les bateaux à vapeur des États-Unis d'Amérique, qu'à New-York, où l'on construit les nombreux bateaux à vapeur qui naviguent dans ces contrées, on règle la grandeur des chaudières d'après cette donnée de l'expérience, *que 4 chaudières de* $0^m,60$ *à* $0^m,75$ *de diamètre, et de* $5^m,50$ *à* $6^m,00$ *de long, suffisent pour* 100 *chevaux*. Ce serait donc une chaudière pour 25 chevaux, ou 100 litres environ par force de cheval; or, notre chaudière en offre 260.

Il est donc prouvé que notre chaudière peut être beaucoup réduite de volume, surtout si on augmente le diamètre de son foyer, afin de donner au feu plus d'activité. Peut-être serait-il possible alors de disposer dans son intérieur un ou deux tubes bouilleurs, afin de diviser la flamme, de mieux utiliser la chaleur, et d'augmenter encore la surface de chauffe. On a donné plus d'extension encore à cette idée dans un bateau à vapeur, construit l'année dernière à Paris, pour la marine royale; le réservoir de vapeur y est séparé de la chaudière proprement dite, et celle-ci est formée de deux enveloppes cylindriques et concentriques, à 4 pouces de distance l'une de l'autre, dont l'intervalle est constamment rempli d'eau. Le foyer

établi dans l'enveloppe intérieure est alors très-grand : on peut y brûler beaucoup de combustible à la fois, et surtout y placer de nombreux bouilleurs qui mettent très-bien à profit la chaleur.

Mais de plus grandes améliorations se préparent encore ; on a senti que, puisque les dimensions à donner aux chaudières ne dépendaient pas de la quantité d'eau qu'elles pouvaient contenir, mais seulement de leur surface de chauffe, on pouvait y substituer des tuyaux qui auraient l'avantage d'offrir à l'action du feu une très-grande surface sous un très-petit volume, en même temps qu'une très-grande résistance. Perkins, à qui l'on doit cette idée, a donné à ces chaudières le nom de *générateurs*. On fait maintenant de nombreux essais pour les perfectionner ; il est surtout difficile de les alimenter par un courant d'eau assez continu pour empêcher les tuyaux de rougir et de se brûler très-promptement. Ce nouveau système réduirait de moitié ou des trois quarts le poids et le volume des chaudières ordinaires.

Enfin, il est possible aussi de réduire la surface de chauffe d'une chaudière, et par suite son volume et son poids, en donnant au feu une grande intensité, au moyen d'un ventilateur mu par la machine elle-même, ce qui permet de supprimer la cheminée (1).

---

(1) L'activité du foyer a la plus grande influence sur la quantité de vapeur que peut produire la surface de chauffe d'une

Les autres parties de la machine sont également susceptibles de perfectionnemens; on n'a pu en effet, dans une première construction, s'éloigner beaucoup des dimensions et équarrissages en usage ordinairement pour les machines fixes, où l'excès de solidité est plutôt un avantage qu'un inconvénient; mais, pour une machine mobile, le poids de chaque pièce devient important à considérer : cette seule étude

---

chaudière. M. Clément-Desormes a reconnu qu'on obtenait ordinairement, dans les chaudières des machines à vapeur, 25 à 30 kil. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure, en prenant la moyenne de toutes les parties de la chaudière exposée à l'action du feu, et avec cette condition d'ailleurs, que 1 kil. de charbon fournisse 6 kil. de vapeur, ce qui exige qu'on ne pousse pas le feu avec trop de violence. Si, au contraire, on ne craint pas la dépense du combustible, on peut obtenir sur la même surface de 1 mètre carré, et dans 1 heure, 50 à 60 kil. de vapeur, et même jusqu'à 100 kil., en faisant un feu de forge; mais il en résulte une perte énorme de chaleur par le courant de gaz emporté dans la cheminée; tellement que, si on utilisait ce courant pour échauffer une autre chaudière, on obtiendrait encore une grande quantité de vapeur. Avec un ventilateur, au contraire, la température de la cheminée n'étant plus une condition nécessaire pour obtenir un fort tirage, on peut utiliser la plus grande partie de la chaleur qui se perd dans la cheminée; et, comme le foyer peut être porté alors à une très-haute température, et que dans tous les cas la chaudière ne s'échauffe que par la différence de cette température avec celle de l'eau qu'elle contient, on obtient une très-grande masse de vapeur; il en résulte même une économie de combustible, car on a trouvé qu'en remplaçant le condenseur d'une machine ordinaire par une pompe soufflante, on compense, et au-delà, tout l'avantage que donnait le condenseur.

exige un travail considérable auquel nous n'avons pu nous livrer. L'emploi du bronze, substitué à la fonte, favoriserait beaucoup ce genre d'amélioration, en raison de sa résistance, surtout pour le cylindre à vapeur et les pompes à eau : ce métal éviterait aussi les ravages que la rouille peut faire dans les pièces en fer, et l'entretien de la machine serait alors réduit aux seules tiges des pistons et aux tourillons des bielles.

Enfin, plusieurs parties même du mécanisme peuvent être simplifiées ou rendues d'un service plus commode, moins minutieux; l'usage seul permettra de juger les améliorations dont tous ces détails sont susceptibles. Mais de tels travaux exigent beaucoup de temps, de bons ouvriers, et surtout de l'argent, ce nerf de toute entreprise : or, ce sont précisément des élémens qui nous ont manqué. L'importance des résultats que l'on peut attendre détermineront maintenant les sacrifices qu'il convient de faire pour les obtenir.

Au degré de perfection où l'on peut espérer de porter les machines à vapeur mobiles, il est difficile de prévoir où s'arrêtera leur influence dans la défense de places. Si en effet, avec le secours de moteurs aussi puissans, et independamment de toutes les ressources actuelles de l'art défensif, l'assiégé parvient à soulever de leur lit les eaux des ruisseaux et des rivières qui baignent les places, que deviendraient, sous l'action de telles masses d'eau, les faibles travaux de l'assiégeant, ses batteries, ses tranchées,

ses mines, qui, creusées dans le sol, peuvent devenir autant de réservoirs impraticables; et comment pourrait-il lutter contre un tel agent, découvert et en prise à tous les feux meurtriers de la place?

Lorsqu'on fit usage des premiers canons, on ne prévoyait guère qu'on pût en faire aujourd'hui un emploi aussi étendu. Il n'est pas rare en effet de voir maintenant dans une place 2 à 300 bouches à feu, et quelquefois plus encore (1); or, sur une masse aussi considérable d'artillerie, 2, 3, ou même 10 pièces de plus ou de moins, influeraient-elles d'une manière bien sensible sur les résultats de la défense? Ce n'est guère probable; cependant ce seul nombre de machines à vapeur peut donner les résultats les plus décisifs. La dépense serait d'ailleurs à peu près la même dans les deux cas; car une pièce de 24, avec son approvisionnement de siége, revient à envion 26.000 fr. (2), c'est-à-dire à peu près autant

---

(1) Dans le dernier blocus d'Anvers, on comptait plus de 500 pièces en batterie sur les remparts. Lors de la prise de Mayence, en 1792, on trouva dans la place 430 pièces en bronze et 107 en fer. Dantzig, lors du dernier siége, était armé de 309 bouches à feu, et tous les états d'armement en demandaient davantage. La place de Magdebourg, lorsqu'elle fut prise par les Français, était armée de 800 bouches à feu.

(2) D'après Gassendi, une pièce de 24, dont le poids est de 5.628 livres, revenait autrefois, toute faite, à raison de 36 sols la livre, ou. . . . . 10.128 fr

D'après une note de M. Dussaussoy, elle coûtait à l'arsenal de Séville, pendant la guerre d'Espagne, où l'on fabriquait très en grand, 10.831 fr.

qu'une machine à vapeur de 12 chevaux avec ses accessoires. Or, si on considère le nombre immense de bouches à feu qui composent l'armement de toutes nos places, et les dépenses que l'on fait chaque année pour le compléter, doit-on regarder aux frais de construction de quelques machines à vapeur mobiles pour hâter leurs progrès et commencer à jouir des services qu'elles peuvent rendre?

Les moyens employés jusqu'ici par l'art défensif pour assurer l'indépendance du pays et la conservation de ses richesses, sont malheureusement improductifs par eux-mêmes : les machines à vapeur, au contraire, peuvent gagner avec usure l'intérêt de leur dépense; employées dans les travaux militaires et les arsenaux, elles donneront des économies considérables qui laisseront des fonds disponibles pour de nouvelles améliorations; livrées

---

Report de la note.	10.128 fr.
L'affût, sans l'avant-train, coûtait autrefois 547 fr., et tout compris on peut supposer au moins.	800 fr.
Pour l'approvisionnement à 1.000 coups ; 1.000 boulets, offrant un poids total de 12.000 kil., lesquels coûtent, aux forges d'Hayange, 270 fr. les 1.000 kil., plus 10 fr. de port jusqu'à Metz.	3.240 fr
4.000 kil. de poudre, à raison de 2 fr. 50 c. le kil., prise aux poudrières, et qu'on doit porter au moins à 3 fr. à cause des transports, déchets, frais d'emballage, etc.	12.000 fr.
Total.	26.168 fr.

même à l'industrie particulière, elles peuvent offrir des bénéfices encore plus grands, et au premier signal de guerre, rangées sous les remparts, elles seront encore de puissans auxiliaires pour la défense de nos forteresses.

LÉGENDE.

1,1. Chaudière en tôle de fer, de 4 lignes d'épaisseur ; elle a été essayée à une pression de 25 atmosphères, quoique la tension de la vapeur ne dût jamais s'élever au-dessus de 6 atmosphères.

2,2. Soupapes de sûreté.

3,3. Rondelles fusibles destinées à suppléer aux soupapes de sûreté, si celles-ci ne fonctionnaient pas ; elles sont couvertes d'une grille en fer pour les empêcher de bomber sous la pression ordinaire que doit supporter la chaudière.

4. Trou d'homme pour visiter l'intérieur de la chaudière et la remplir d'eau ; un robinet placé à l'opposé sous la chaudière sert à la vider.

5. Tuyau de la cheminée dont on enlève la partie supérieure pour la marche du chariot.

6,6. Cylindre intérieur où l'on fait le feu ; la grille a 2^{m}, 30 de longueur.

7,7. Conduits pour la fumée, qui communiquent d'une part au cylindre servant de foyer à l'un des bouts de la chaudière, et de l'autre au tuyau de la cheminée.

8. Porte du foyer.

9. Cendrier.

10. Tube de niveau en verre, pour indiquer la hauteur d'eau dans la chaudière; il est fixé entre deux robinets qui permettent d'interrompre sa communication avec la chaudière, afin que s'il vient à se casser, on puisse le remplacer pendant le jeu même de la machine.
11. Brancards du chariot sur lesquels reposent la chaudière et la machine.
12. Avant-train.
13. Tuyau d'admission de la vapeur.
14. Tuyau de fuite.
15. Cylindre à vapeur dans lequel joue le piston moteur; celui-ci a 1 pied de diamètre et 2 pieds de course.
16, 16. Pompes à double effet qui aspirent et refoulent l'eau d'une manière continue.
17. Balancier en fonte qui relie les tiges des pompes à eau et du piston moteur.
18. Régulateur de la machine à vapeur qui détermine le mouvement de va et vient en faisant passer successivement la vapeur au dessus et au-dessous du piston moteur, et en donnant ensuite à cette vapeur une issue dans l'air après qu'elle a produit son effet. Ce régulateur est formé de deux pistons distributeurs portés sur une même tige, qui ouvrent et ferment successivement les orifices d'admission et de fuite de la vapeur. Il reçoit son mouvement par une tringle fixée au balancier; qui joue libre ment dans la tige des pistons creusée à cet effet; cette tringle porte deux tocs, l'un intérieur qui fait monter la tige des pistons lorsque le balancier s'élève, l'autre extérieur qui fait descendre cette même tige lorsque le balancier s'abaisse. Le régulateur ne commence à marcher que lorsque le piston moteur est arrivé à 3 pouces de la position extrême qu'il doit prendre soit en haut, soit en bas de sa course; à ce point il est entraîné avec une vitesse égale à celle de ce piston. Plusieurs conduits ménagés dans l'épaisseur de la fonte favorisent le jeu de la vapeur distribuée par le régulateur soit pour son entrée dans le cylindre à vapeur, soit pour sa sortie dans l'air.
19. Robinet à vapeur: c'est le gouvernail de la machine, en

permettant de mettre cette machine en action, de l'arrêter, ou de lui donner une vitesse plus ou moins grande, selon que l'on admettra plus ou moins de vapeur ; cette vitesse pour être bonne doit être de 30 à 45 pulsations complètes par minute.

20. Pompe alimentaire.

21. Guides en fonte entre lesquelles joue le balancier.

22. Galets en cuivre pour faciliter le mouvement de va et vient du balancier entre les guides.

23. Chantiers sur lesquels repose l'arrière train de la machine.

24. Roues servant de volant lorsque l'arrière train de la machine est soulevé au-dessus du sol et repose sur les chantiers.

25. Essieu des roues de derrière ; lorsque la machine est en jeu, il roule dans des boîtes en cuivre fixées sous les brancards du chariot. On peut le rendre fixe pour la marche au moyen d'un boulon qui le traverse ainsi qu'un collier qui l'embrasse.

26. Bielles qui transmettent le mouvement du balancier aux roues servant de volant.

27. Manivelles qui s'emboîtent sur la tête des moyeux des roues, où elles sont fixées par une clef qui les traverse ; ces moyeux sont en fonte pour que cet assemblage soit plus solide.

28. Clefs qui traversent les moyeux des roues et l'essieu de manière à rendre ces pièces solidaires lorsque les roues doivent servir de volant ; on les enlève pour la marche du chariot, afin que les roues soient mobiles sur leur essieu.

29. Traverse en fer qui relie les deux guides du balancier ; cette pièce est fort utile pour faciliter toutes les manœuvres de force relatives au montage et au démontage de la machine, en offrant un point fixe pour y accrocher la moufle nécessaire pour faire ces manœuvres.

30. Tuyau d'aspiration des pompes à eau ; on doit raccorder l'extrémité de ce tuyau sous la machine, à la conduite de prise d'eau, par un bout de tuyau en cuivre, en plomb, ou même en cuir pour être plus flexible, afin de

partager plus facilement la distance jusqu'à cette conduite.

31. Tuyau de fuite des pompes à eau ; on le rattacherait par un tuyau un peu flexible à la conduite qui doit distribuer l'eau élevée par la machine.
32. Réservoir d'air destiné à régulariser la vitesse de l'eau dans la conduite de fuite ; on pourrait à la rigueur s'en passer d'après l'effet continu des pompes à eau.
33. Boîtes des clapets d'aspiration pour visiter ces clapets et les réparer s'ils ne fonctionnent pas
34. Boîtes des clapets de fuite.
35. Plaque d'assise boulonnée sur les brancards du chariot et sur laquelle se trouve fixé par des pates boulonnées le cylindre à vapeur et les pompes à eau.
36. Pates ou agrafes qui relient les pompes à eau au cylindre à vapeur de manière à former de ces 3 cylindres un système invariable.
37. Traverses en fer pour consolider encore ce système.

INSTRUCTION

SUR

LA PLANTATION ET LA CULTURE

DES ARBRES

DANS LES TERRAINS MILITAIRES.

Cette instruction, extraite du devis général des ouvrages militaires de la place de Verdun, a été rédigée par M. PIÉRARD, Capitaine du Génie.

ARTICLE 1^er^.

Les plantations d'arbres qui se font sur les terrains militaires ne réussissent pas toujours, et sont généralement bien loin de remplir leur objet : 1°. parce qu'elles sont faites ou dirigées par un entrepreneur qui n'a pas une parfaite connaissance des meilleurs procédés que l'on doit suivre, ou qui emploie des ouvriers qui les ignorent ;

2°. Parce que les arbres plantés par lui étant tirés des pépinières éloignées du lieu, transportés et emballés avec peu de soin, leurs racines se trouvent

desséchées; 3°. Parce que ces arbres élevés dans des terrains trop fertiles, arrachés sans précaution et dépourvus de leur pivot, sont plantés dans des trous faits depuis peu de temps, sans avoir égard à l'espèce de terrain qui leur est propre; 4°. Enfin, parce que l'on a la mauvaise habitude de remplacer un arbre mort de vétusté par un autre de la même espèce, sans prendre la précaution de renouveler la terre du trou, ou autrement de faire la fouille plusieurs mois d'avance, et d'extraire exactement du trou toutes les anciennes racines, afin que la terre puisse s'améliorer par l'action que les météores exercent sur celle qui est en contact avec l'air atmosphérique, lequel donne à cette terre des qualités nouvelles et la rend plus susceptible d'action sur la fibre des arbres qu'elle doit environner.

ARTICLE 2.

Il n'est aucun cultivateur qui ne connaisse les immenses avantages, que présentent les plantations faites d'après de bons principes avec des arbres convenables à chaque espèce de terrain, et élevés suivant les procédés confirmés par la théorie et l'expérience. On ne peut aussi nier l'avantage qu'offre, pour faire de bonnes plantations, l'établissement d'une pépinière située dans leur voisinage et susceptible de fournir des arbres que l'on doit planter dans des terrains analogues et sous le même climat.

D'après ces considérations, on a cru devoir entrer

dans les principaux détails sur les procédés qui doivent être suivis dans la plantation et la culture des arbres rustiques, de manière à obtenir des arbres vigoureux, sains, durables, et qui puissent servir avantageusement dans les constructions.

ARTICLE 3.

Choix des arbres pour les divers terrains.

Les arbres les plus avantageux à planter sur les terrains militaires dépendant de la fortification, sont : 1°. le chêne commun, l'érable-sycomore, les alisiers blancs et torminaux, le sorbier domestique, le platane de Virginie, le févier à trois pointes, et le marronnier d'Inde dans les terrains de bonne qualité, qui ont de la profondeur; 2°. Le frêne élevé, le tilleul (celui de Hollande de préférence), l'érable-plane, les noyers commun et noir, l'érable à feuilles de frêne, et le platane d'Orient dans les bons terrains qui ont moins de profondeur;

3°. L'érable champêtre, le robinier blanc, le frêne-orme, les bouleaux blanc et noir (ou du Canada), le hêtre et le mélèze dans les terrains médiocres; 4°. Le saule blanc, l'aune, les peupliers d'Italie, du Canada et de Hollande (ou l'ypréau) dans les terrains humides ou exposés à être submergés.

ARTICLE 4.

Observation sur

Il est bon d'observer, 1°. que parmi les espèces

quelques espèces d'arbres.

d'arbres que l'on vient d'indiquer, le marronnier, les platanes, le frêne élevé et l'érable à feuilles de frêne demandent à être plantés dans un terrain frais ; 2°. Que le mélèze prospère très-bien dans les terres fort argileuses, rougeâtres, et sur les endroits les plus élevés ; 3°. Que les trois sortes de peupliers demandent à être plantés dans un assez bon terrain ; 4°. Enfin, que le hêtre veut être planté dans un terrain qui ne soit pas humide (1).

ARTICLE 5.

Dimensions des trous.

Les arbres seront plantés aux distances fixées, en suivant les alignemens donnés par l'officier du génie, dans les trous de 1 mètre à 1^m, 60 en carré, et de 0^m, 60 à 1 mètre de profondeur, selon la forme des racines, c'est-à-dire, selon que

---

(1) Il ne sera pas tout-à-fait hors de propos de citer un fait assez singulier relativement à une espèce particulière de hêtre, *hêtre à larges feuilles*, variété du hêtre d'Europe (*fagus sylvatica*). On croit généralement, en Amérique, que cet arbre n'est jamais frappé de la foudre, et cette opinion y est tellement établie, que, dans les temps d'orage, les habitans cherchent un abri sous son feuillage. Il ne paraît pas que cette croyance transmise par une longue suite de générations ait jamais été funeste à ceux qui y avaient confiance ; et quoique cette propriété du hêtre d'Amérique n'ait pas été constatée par les savans, on est fondé à penser que l'observation dont il s'agit est exacte et pourrait être mise à profit dans quelques circonstances, en donnant les moyens d'établir à peu de frais une espèce de *paratonnère naturel*. P. B.

les arbres n'auront pas de pivot ou en seront pourvus. Dans la fouille des trous, on aura soin de placer séparément autour de leurs bords, les trois ou quatre couches successives de terre provenant de leur excavation, et d'ôter les plus grosses pierres et les racines de chiendent, de liseron et autres racines nuisibles.

ARTICLE 6.

Les trous seront faits au moins trois ou quatre mois avant l'époque fixée pour la plantation. Trous faits à l'avance.

ARTICLE 7.

La saison la plus favorable pour la plantation des arbres à feuilles caduques est l'automne. Il n'y a pour les plantations du printemps qu'un seul cas, c'est lorsqu'on doit planter dans un sol aquatique, dans lequel on ne peut faire les trous sans qu'ils soient inondés. Dans le cas contraire, l'automne est encore la saison que l'on doit préférer pour planter dans un terrain de cette nature, qui, comme on sait, ne convient qu'aux aunes et aux diverses sortes de peupliers et de saules. En général, excepté pendant le temps de gelée et de fortes pluies, on pourra planter depuis le 15 novembre jusqu'au 15 mars. On aura soin de ne pas planter lorsque la terre est trop humide et ne peut se travailler facilement; une terre trop humide a l'inconvénient de faire, comme on Époque des plantations.

dit, un mastic toujours nuisible au développement des nouvelles racines, qui, dans ce cas, sont d'ailleurs très-exposées à être desséchées par l'air introduit par les crevasses qui se forment pendant l'été.

ARTICLE 8.

Déplantation d'arbres. La manière de déplanter un arbre influant beaucoup sur sa reprise, on prendra toutes les précautions nécessaires pour procéder à la déplantation; pour cela, on commencera par décrire un cercle autour de l'arbre, d'un diamètre proportionné à sa force : on enlèvera ensuite la terre avec une bêche en suivant la trace de ce cercle, et à mesure qu'on approfondira la tranchée, on coupera les racines qui s'y trouvent sans les fendre ni les écorcher : après quoi et à l'aide d'un long crochet acéré, on ôtera la terre qui se trouve entre cette tranchée et le collet des racines, afin de pouvoir reconnaître et couper plus longues celles qui sont pivotantes. Lorsqu'en remuant l'arbre on sent qu'il cède et qu'il ne tient plus que par de très-petites racines qu'on peut enlever avec lui, on l'arrachera en le baissant de tous côtés, et en le tirant à soi avec le soin d'arracher le pivot et de le couper le plus long possible. Le diamètre de l'excavation sera au moins de 60 centimètres.

ARTICLE 9.

Procédé à sui- Avant de procéder à la plantation d'un arbre, la

première chose à faire, lorsqu'il vient d'une pépinière un peu éloignée et qu'il est dépourvu de ses couvertures, est de visiter ses racines : si elles sont un peu desséchées, on les mettra préalablement dans un cuvier rempli d'eau de fumier, obtenue en faisant macérer du crottin de cheval ou de la bouse de vache avec de la colombine, dans trois ou quatre fois leur volume d'eau. On les y laissera pendant environ 24 heures et même plus, selon leur état de dessiccation : après ce temps, on habillera les racines, que l'on saupoudrera de terre très-meuble, immédiatement avant la plantation. vre dans la plantation.

ARTICLE 10.

Lorsqu'on habillera un arbre, on aura soin de rafraîchir seulement les extrémités des racines en coupant les bouts en sifflet, de manière que cette coupe pose sur la terre. Quand le chevelu sera encore bien frais, on aura le soin de le respecter et de le rafraîchir seulement; mais s'il était sec, on le couperait entièrement jusqu'au vif ainsi que les autres racines desséchées et fendues : le chevelu et les racines viciées se moisissent dans la terre, et, la chancissure gagnant les racines, l'arbre périt. Coupe des racines.

ARTICLE 11.

Les arbres que l'on plantera auront au moins trois à quatre centimètres de diamètre moyen, sur 1 mètre Dimensions des arbres plantés.

80 centimètres de hauteur de fût, et 2 à 3 mètres de hauteur totale, selon l'espèce et la disposition de leurs branches. Après avoir habillé les racines de l'arbre, on rapprochera les branches latérales et quelquefois la tige selon le genre d'arbre sur lequel on opère, de manière que la grosseur et sa hauteur soient proportionnées aux racines.

ARTICLE 12.

Etêtemens des arbres.

On a dit qu'on rapprochait la tige d'un arbre avant de le planter; mais cela n'a lieu que pour quelques-uns, parce qu'il en est qu'on n'étête jamais; tels sont les ormes, les noyers, les érables, les frênes, les peupliers, les chênes, les mélèzes, etc.; en général tous les arbres qui ont un bouton terminal très-gros ou le tuyau médullaire considérable, ou généralement ceux qui développent des branches latérales. A la vérité, l'orme et le chêne ne sont dans aucun des cas précités; mais l'expérience prouve que, l'écorce de l'orme étant plus compacte que celle de plusieurs autres arbres, le bouton qui doit s'épanouir en rameau la perce très-difficilement, et que s'il périt beaucoup d'ormes étêtés lors de leur plantation, c'est parce que le bouton n'a pas la force de vaincre la résistance qu'il éprouve. D'ailleurs, en plaçant cet arbre dans la position la plus favorable, il faut encore qu'il s'élève, qu'il acquière la direction verticale, et que la branche la plus privilégiée supplée à la tige dont il a été privé. Or, il

est évident que cette branche, partant de côté, ne peut, dans le début, la remplacer que très-imparfaitement, surtout si l'on n'a pas supprimé avec art l'onglet ou le bois mort qui est au-dessus du point de naissance de cette branche. De plus, en supposant que des bourrelets successifs recouvrent la partie où la tige a été emportée, et qu'il ne paraisse plus de solution de continuité, ce qui est très-rare, il est encore évident que l'arbre est d'une force et d'un prix très-inférieurs à un autre, parce que le bois a nécessairement moins d'élasticité, est presque toujours carié, et qu'enfin on n'aperçoit que rarement ces défauts qui nuisent beaucoup aux constructions.

ARTICLE 13.

Avantage de planter de jeunes arbres.

En général, il est plus avantageux de planter des arbres jeunes pour leur laisser la tige, que de les planter vieux et être obligé de les étêter. On sait aussi qu'un arbre étêté n'a jamais le port aussi droit que celui auquel on a conservé la tige.

ARTICLE 14.

Pose des tuteurs.

Lorsqu'on se propose de procéder à la plantation des arbres, il est toujours utile de placer préalablement les tuteurs dans les alignemens et aux points déterminés, pour ne pas déchirer les racines, comme cela arrive lorsqu'on fait plus tard cette opération au moyen d'un gros pieu ferré.

ARTICLE 15.

Remplissage des trous.

Pour procéder à la plantation d'un arbre, on piochera d'abord le fond du trou, et on y jettera de la terre bien meuble provenant de la superficie du terrain, jusqu'à ce qu'il n'y reste plus à remplir qu'une hauteur d'environ 25 à 35 centimètres, selon la disposition des racines ou l'épaisseur de leur masse. On placera ensuite l'arbre au milieu de son trou, aussi droit que possible, en observant de diriger, s'il en est nécessaire, les plus belles racines vers la meilleure veine de terre, et d'appuyer l'arbre le long de la partie du tuteur qui regarde l'ouest, afin que le tuteur puisse s'opposer d'une manière plus efficace à l'action des grands vents qui soufflent le plus souvent de ce côté (1); on jettera peu à peu de la bonne terre meuble sur les racines, en prenant en même temps la précaution de les bien étendre et de les garnir de terre avec les mains, de manière qu'elles en soient entièrement environnées: on continuera de remplir le trou, et lorsqu'il sera comblé au niveau du terrain, on piétinera doucement la terre sur l'espace libre de racines, c'est-à-dire, entre leurs extrémités et les parois du trou: on remplira les endroits enfoncés par le pied, et on achèvera de combler le trou avec la terre la moins bonne, en observant de former au pied de l'arbre, une espèce de cavité susceptible de retenir les eaux pluviales et d'entretenir une légère humidité.

(1) Cette prescription est purement locale,

ARTICLE 16.

Règles générales. Lorsqu'on plante un arbre, il faut toujours avoir soin d'opérer de manière qu'il se trouve, après le tassement de la terre, à la même profondeur qu'il était dans la pépinière : il y a plus d'inconvénient à le planter trop profondément que trop près de la surface de la terre. Au lieu de faire couler, à l'aide de la pelle et des mains, de la terre entre les racines d'un arbre que l'on plante, on se contente quelquefois de soulever très-légèrement la tige en la remuant; mais cette méthode ne doit jamais s'employer que lorsque les racines de l'arbre sont un peu fortes, parce que, dans un autre cas, le poids de la terre qui les recouvre leur fait nécessairement prendre une direction oblique ou pivotante, contraire à celle qu'elles avaient primitivement. D'un autre côté, ces racines trop enterrées ne peuvent plus ramper sur la surface de la terre pour recevoir les influences de l'atmosphère, et y puiser des substances plus végétatives que dans son sein, et l'arbre languit constamment.

Soins à apporter dans la plantation.

ARTICLE 17.

Il est aussi essentiel quand on plante un arbre de courber le pivot, lorsque le terrain n'a pas assez de profondeur, pour forcer ce pivot à pousser des

Arrosement des arbres.

racines latérales. Il sera aussi très-avantageux d'arroser l'arbre avec un arrosoir armé d'une pomme, lorsque ces racines seront bien couvertes et que cette opération pourra se faire sans occasioner une dépense considérable.

ARTICLE 18.

Moyens d'accélérer la végétation.

Il existe plusieurs moyens d'accélérer la végétation des arbres, et d'entretenir la terre qui est autour de leurs racines dans l'état d'humidité si nécessaire à l'époque des grandes chaleurs; mais tous ces moyens ne peuvent guère se pratiquer dans les plantations que nous considérons. Une certaine épaisseur de litière, par exemple, placée au pied d'un arbre, y conserve de la fraîcheur et empêche la terre de se plomber; un lit de morceaux de charbon ou de poussière de charbon que l'on trouve dans les forêts, produit un bon effet lorsqu'on a soin de les mettre au-dessus de la couche de terre qui recouvre les racines. Les cornes, les ongles et le poil des animaux, placés de la même manière, mais en plus petite quantité, produisent des effets merveilleux, parce que leur décomposition, qui produit beaucoup d'acide carbonique, est très-lente et proportionnelle à la chaleur de l'atmosphère.

ARTICLE 19.

Liens des arbres.

Les arbres seront liés après les tuteurs par un

nombre suffisant de liens ou harts d'osier, de grosseur et de longueur convenables, en prenant toujours la précaution d'interposer entre le tuteur et l'arbre un torchon de paille ou de mousse pour empêcher l'action du lien qui les unit, action qui tend toujours à former un bourrelet; les arbres plantés sur les voies publiques ou dans les terrains destinés à la pâture des bestiaux, seront enveloppés d'épines fixées par de fortes harts.

ARTICLE 20.

Choix des tuteurs.

Les tuteurs qui seront employés dans les plantations et les pépinières seront de deux espèces; les premiers, destinés à servir d'appui aux arbres que l'on veut transplanter, auront de 2^m, 00 à 3^m, 50 de longueur et de 6 à 8 centimètres de diamètre moyen, selon les dimensions des arbres. Ces tuteurs seront choisis de préférence en bois de chêne, de merisier, d'érable champêtre ou de saule marsault, coupés en bonne saison, écorcés dans toute leur longueur, sciés carrément à leur partie supérieure, et employés toujours quelques mois après leur coupe.

ARTICLE 21.

Carbonisation des tuteurs.

Les tuteurs destinés à soutenir ou à dresser les plants qui se trouvent dans les pépinières, seront faits avec des brins de bois qui auront de deux centimè-

tres et demi à quatre centimètres de grosseur dans leur milieu, et une longueur proportionnée à la force et à la hauteur des plans qu'ils doivent protéger. Ces tuteurs seront aussi coupés en hiver, écorcés ; et autant que possible ils ne seront employés qu'après avoir été en partie desséchés sous un hangar. Il est sous-entendu qu'on aura soin de bien nettoyer tous les nœuds et d'appointer tous les tuteurs sur les deux côtés les plus concaves ; on ne conseillera pas de les carboniser à leur partie inférieure, parce que des expériences ont appris que la durée des pieux carbonisés surpasse de si peu celle des pieux non carbonisés, que cet avantage ne dédommageait pas des dépenses et des embarras de la carbonisation. Ce qui a induit en erreur, c'est que les pieux qui ont été carbonisés, paraissent plus sains à l'extérieur à raison de la lenteur de la décomposition du charbon ; mais on voit, en enlevant le charbon, que l'humidité a pu pénétrer à travers ses fentes et attaquer la fibre du bois

ARTICLE 22.

Remplacement des tuteurs.

Le remplacement des tuteurs dans les plantations faites depuis peu d'années, sera fait en prenant la précaution d'arracher les bouts des tuteurs restés dans la terre, sans blesser les racines, et en rétablissant les enveloppes d'épines, lorsque l'arbre aura été relié après le nouveau tuteur.

ARTICLE 23.

L'élagage, qui est l'opération par laquelle on coupe une partie des branches inférieures d'un arbre, sera fait pendant l'hiver, et autant que possible à la fin de cette saison, pour que les plaies restent moins de temps découvertes avant la formation du bourrelet ; l'élagage ne se pratique que sur les arbres dont les branches trop basses nuisent aux productions des terrains voisins, ou sur ceux que l'on veut faire monter, lorsqu'il ont acquis une certaine grosseur, ou enfin sur ceux qui nuisent au dessèchement de quelque communication. Élagage des arbres.

ARTICLE 24.

L'opération dont il s'agit s'effectuera avec la serpe, le croissant, la hachette ou la scie, selon la grosseur des branches et la plus ou moins grande facilité qu'offrira ce travail ; mais dans tous les cas, excepté celui ou l'on opérerait sur des têtards ou sur de gros peupliers, on aura soin de couper les branches au moins à la distance de 15 à 20 centimètres du tronc, tant pour éviter autour de ce tronc la formation d'une multitude de rejetons qui pousseraient autour de lui, s'il était élagué à la manière ordinaire, que pour s'opposer à cette grande déperdition de sève, concourant toutes deux à l'affaiblissement de l'arbre et ralentissant sa croissance. Manière d'élaguer.

ARTICLE 25.

Observations sur l'élagage.

En suivant le procédé que l'on vient d'indiquer, on évitera la formation des chancres et des gouttières, qui sont presque toujours causées par les larges plaies faites rez du tronc. L'extrémité du chicot qui a été formé se desséchant, la sève cesse d'y affluer en même quantité, et ne tarde pas à prendre une autre direction, ce qui occasione la mort successive de toutes ses parties, sa destruction sans carie, sa chute, et enfin la disparution totale de la plaie. Par cette pratique, les arbres seront garnis pendant l'été d'une foliation suffisante pour favoriser l'accroissement de leur tronc sans nuire aux productions de la culture. Ces arbres deviendront plus gros, plus droits, vivront beaucoup plus longtemps et seront moins altérés que ceux soumis à l'élagage ordinaire.

ARTICLE 26.

Elagage périodique.

Lorsqu'un arbre n'aura encore acquis qu'une portion de sa croissance ou ne sera planté que depuis quelques années (dix, quinze ou vingt ans, selon son espèce), on pourra rendre l'élagage périodique, c'est-à-dire qu'on coupera d'année en année, et aux distances convenables, deux ou trois des branches les plus basses, lesquelles pourront ensuite être recoupées rez du tronc; si la tige d'un arbre n'a pas

encore la hauteur requise, eu égard à sa végétation, ou lorsque le retranchement de ces branches ne donne lieu qu'à des plaies susceptibles d'être bientôt recouvertes. Il est facile de sentir que l'élagage doit être fait avec beaucoup plus de ménagement sur les espèces dont l'étui médullaire est volumineux et sur les espèces dont le bois est plus sujet à la pouriture.

ARTICLE 27.

Élagage des arbres formant avenue.

Dans l'élagage des arbres formant *avenue*, on aura le soin de ne tailler ou raccourcir les branches latérales situées dans sa direction, que dans le cas ou ces premières se nuiraient réciproquement ou auraient besoin d'être rajeunies pour obtenir une plus belle foliation. Les autres branches qui saillent seront rapprochées d'année en année, afin de faire prendre aux arbres la forme voulue par leur situation. Il faut aussi, dans tous les cas, avoir le soin de retrancher les bois morts ainsi que les plus petits chicots, et les branches cariées ou viciées qui portent la corruption au corps de l'arbre.

ARTICLE 28.

Taille en crochet

La taille ou l'opération de ce nom qui est pratiquée sur les arbres plantés dans une pépinière, a pour but d'accélérer la croissance de ces arbres et la

formation de leur tige dans le moins de temps possible, et de les rendre promptement défensables sans nuire à leur durée ni à la qualité du bois. Cette taille, appelée taille en crochet, sera faite en hiver, en coupant près du tronc toutes les branches qui rivalisent avec ce tronc ou avec la tige qui le termine, et à quelques centimètres du tronc toutes les autres branches, les plus faibles étant conservées plus longues.

Lorsqu'un arbre est couvert de ses feuilles, la suppression d'une branche ne doit jamais être faite près du tronc, afin d'éviter l'extravasion de la sève, mais à une distance d'autant plus petite qu'elle est grosse ou susceptible d'affamer la tige.

Ce procédé est fondé sur ce que les arbres tirent autant de nourriture par leurs feuilles que par leurs racines. Or, lorsqu'on a coupé rez du tronc d'un arbre toutes les pousses les plus fortes, et toutes les petites à 15, 20 et 30 centimètres de longueur, il est clair qu'on détermine la plus grande partie de la sève à se porter sur la branche qui est restée entière, ce qui la fait pousser d'autant en hauteur et en grosseur, tandis que le reste de cette sève fait sortir, des portions de petites branches conservées, des bourgeons nombreux qui se chargent généralement d'un plus grand nombres de feuilles que l'arbre n'en aurait donné, si on ne l'eût pas taillé. On remplit donc toutes les indications propres à assurer la plus rapide croissance de cet arbre, à le rendre droit et d'un beau port. On continuera de répéter

cette opération toutes les fois qu'elle sera nécessaire, en opérant toujours sur la moitié ou sur le tiers inférieur de la partie branchue, en allongeant chaque fois de quelques centimètres la taille des branches les plus faibles et en raccourcissant les moyennes; les plus grosses branches continuant à être coupées, non rez du tronc, mais à la distance de 3 à 6 centimètres de ce tronc; et lorsque la grosseur de l'arbre sera proportionnée à sa hauteur, on coupera successivement rez du tronc, tous les crochets, en commençant par les plus gros et en observant de ne jamais couper deux crochets, lorsqu'ils seront très-rapprochés, opposés en couronne, c'est-à-dire amplexicaules.

ARTICLE 29.

Observations sur la tige de quelques arbres.

Il existe des arbres dont la tige s'élève beaucoup et ne grossit pas proportionnellement; tels sont, par exemple, les ormes, les féviers à trois pointes, les robiniers blancs, les platanes, etc.

Pour obvier à cet inconvénient, on allongera pour ces arbres la taille en crochet, et on raccourcira au printemps la tige de quelques décimètres, afin de la faire grossir et de la rendre inflexible à l'effort des vents. Cependant cette dernière pratique ne sera employée que dans le cas où l'on n'aurait pas à sa disposition la quantité et l'espèce de tuteurs convenables pour ce travail : dans le cas contraire, on aura soin d'attacher les jeunes arbres aux tuteurs

avec le nombre de liens nécessaires et à mesure que la tige s'allongera. Dans cette dernière opération, la partie inférieure de la tige sera attachée au tuteur à l'aide de deux ou trois petits liens d'osier, et la partie supérieure non encore ligneuse, sera liée avec des joncs, pour éviter des étranglemens. En général, lorsqu'on connaît la manière de végéter de chaque espèce d'arbre, la nature du terrain dans lequel elle est plantée, et les soins qu'elle exige, le pépiniériste peut facilement décider de l'époque et des diverses opérations qu'il doit faire sur chacune d'elles, pour obtenir les meilleurs résultats.

ARTICLE 30.

Recepage.

Il est des arbres qui ont une tige en zig-zag, tortueuse et pourvue d'une grande quantité de petites branches chiffonnes, auxquelles il est très-difficile et même presque impossible de former une tige droite et régulière, en employant des tuteurs et les procédés développés ci-dessus. Pour parvenir à donner un beau port à cette tige, on la coupera rez du tronc à la fin de l'hiver : on conservera ensuite celui des rejets qui paraîtra le plus vigoureux vers le milieu de l'été ou entre les deux sèves, et on supprimera successivement à cette époque tous les autres rejets, de manière que celui qui est conservé n'ayant qu'une seule déviation de la sève à surmonter, et ce, près de la racine, il prendra une hauteur et une grosseur proportionnées, dans chaque espèce d'arbre, à la

nature du sol et aux différens agens qui peuvent influer sur sa végétation ; de sorte que, dès la même année, il surpassera souvent l'ancienne tige dans toutes ses dimensions. Arrivé à cette époque, l'arbre sera conduit et soigné les années suivantes comme on l'a dit plus haut.

ARTICLE 31.

Observations sur le recepage.

L'opération précédente, appelée *recepage*, sera généralement faite la seconde ou la troisième année de la plantation des plants, selon la nature du terrain et les espèces d'arbres, c'est-à-dire qu'elle sera retardée dans les mauvais sols et pour les espèces qui poussent lentement, tels que les chênes, les tilleuls, les bouleaux, les platanes, etc. Lorsque l'opération du recepage est faite trop tard, on n'obtient plus les mêmes effets, parce que les pousses sont un peu plus faibles, et que les plaies étant plus larges elles se recouvrent plus difficilement.

ARTICLE 32.

Arbres qu'on ne doit point receper.

Il est cependant des arbres sur lesquels il ne faut jamais entreprendre l'opération du recepage, que lorsqu'il n'y a plus moyen d'espérer en tirer parti autrement, tels sont les érables, les maronniers, les arbres qui ont une flèche, et ceux qui poussent avec une grande force dans leur jeunesse, comme les peupliers, les saules, etc. Enfin, il en est d'au-

tres pour qui elle est nuisible, comme cela arrive aux arbres dont la large moëlle favorise la pouriture, ainsi qu'aux arbres de la famille des conifères.

ARTICLE 33.

Époque du recepage.

On a dit que le recepage serait fait à la fin de l'hiver, parce que plus tôt on a à craindre les suites des gelées sur les plaies, et plus tard, c'est-à-dire, lorsque la sève est en mouvement, on retarde la pousse et on obtient de moins beaux résultats.

ARTICLE 34.

Méthode à suivre pour receper.

L'opération du recepage sera faite avec une serpette bien tranchante, autant pour accélérer l'ouvrage que pour ne pas éclater la base de la tige; la coupe doit être faite le plus près possible de terre, tournée au nord, et très-oblique. L'opération finie, on donnera un bon binage vers le milieu de l'été; lorsque la végétation commencera à diminuer, on retranchera les bourgeons faibles et mal dirigés, on ne réservera que les deux plus forts et plus droits, les plus opposés possibles; et un mois après, c'est-à-dire entre les deux sèves; on retranchera le plus faible des deux, de manière que la sève d'août porte son action sur un seul. Il serait même préférable de supprimer un à un les bourgeons, à un intervalle de quelques jours, que de les supprimer tous à la fois, excepté deux; mais l'ordre du travail, lors-

qu'il est un peu étendu, et souvent l'économie, obligent à suivre la méthode que l'on vient d'indiquer, quoiqu'elle soit un peu contraire aux vrais principes.

ARTICLE 35.

Arbres défensables. La première année de leur plantation, les arbres défensables ne demandent aucune taille. On se contentera seulement de lier après les tuteurs et aux époques exigées, les pousses de la tige, en se servant de joncs ou de petits osiers, selon leur grosseur; lorsqu'un tuteur ne sera pas assez élevé pour pouvoir y attacher les prolongemens de la tige, on aura soin d'y fixer solidement avec deux ou trois bons liens une baguette de dimensions proportionnées à la force et à la hauteur des pousses, afin d'obtenir des arbres d'un beau port, et susceptibles de fournir de belles pièces de bois.

ARTICLE 36.

Labours, binages, arrosemens. Pour accélérer la végétation des arbres, il est nécessaire de leur donner des labours, binages et arrosemens convenables, d'après la nature du sol, l'âge des plants et la constitution de l'atmosphère.

ARTICLE 37.

Epoque des labours. Les labours seront exécutés au pied des arbres

en place ou dans les pépinières, vers la fin de l'automne, ou pendant l'hiver, en employant la bêche, le hoyau ou le trident, selon la nature du terrain et le genre de la plantation. Les labours que l'on exécutera au pied des arbres qui ont plusieurs années de plantation, seront faits sur un diamètre proportionné à leur grosseur et qui variera de 1m, 20 à 2m, 00. En exécutant ces labours, on aura soin de ne pas écorcer ni couper les racines, d'ôter les racines de chiendent et autres qui effritent la terre, et de donner au labour une forme concave ou convexe, selon que l'arbre est planté dans un terrain sec ou humide.

ARTICLE 38.

Époque des binages. Les binages donnés aux terrains des pépinières ou aux arbres nouvellement plantés seront exécutés toutes les fois que le besoin l'exigera, en choisissant toujours, surtout pour les terrains qui contiennent des semis, une époque où le temps est humide ou disposé à la pluie, afin de ne pas exposer les racines au contact d'un air sec qui les dessécherait nécessairement et occasionerait souvent l'affaiblissement d'un grand nombre de plants.

ARTICLE 39.

Sarclages. Les sarclages ou les petits binages ont pour but de détruire les plantes adventives qui nuisent aux

semis ou aux plants. Les sarclages seront effectués avec la houe dans les pépinières, et avec la serfouette, ou à la main dans les planches de semis, selon la grandeur et la force de ces derniers. On aura soin, pour les semis, de n'effectuer les sarclages que lorsque la surface de la terre sera légèrement humide, ou peu de temps après une petite pluie : au contraire, les sarclages que l'on fera dans les pépinières composées de plants qui ont plusieurs années, seront exécutés par un temps sec, afin d'opérer le dessèchement des herbes et de s'opposer à la reprise de leurs racines, qui aurait nécessairement lieu si la terre était trop humide. Pour faciliter l'extirpation des herbes et nettoyer la pépinière, on se servira ensuite du râteau à petites dents, afin de couvrir en même temps les racines qui auraient été découvertes.

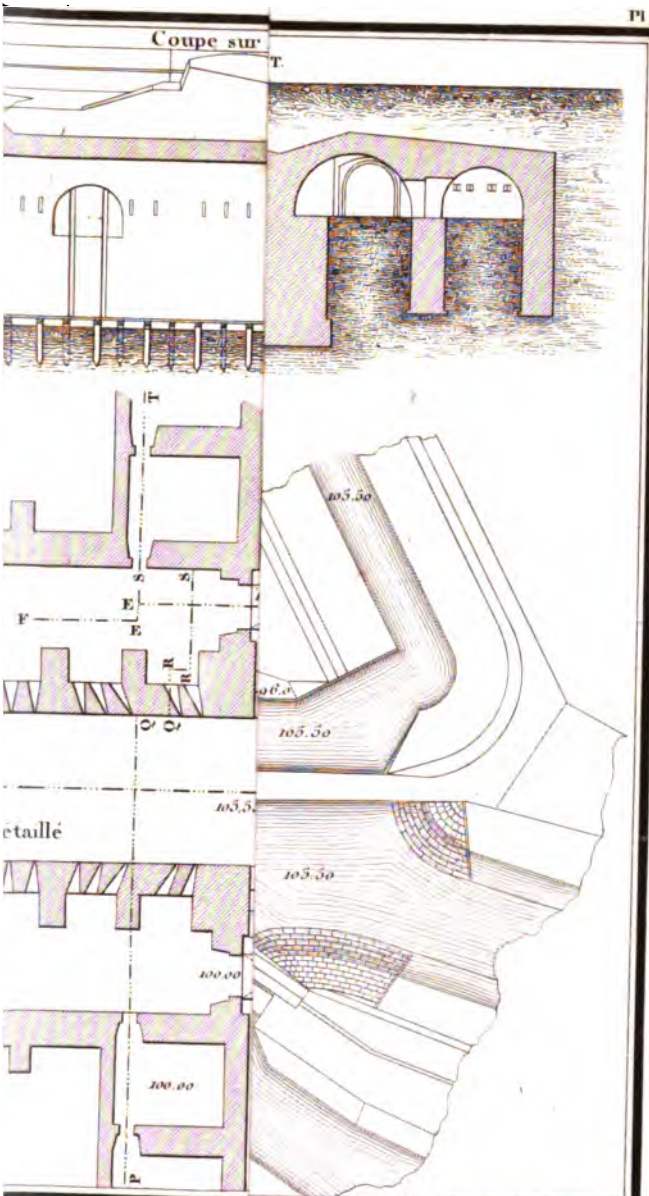
ARTICLE 40.

Arrosemens

Les arrosemens des arbres nouvellement plantés seront faits avec l'arrosoir dépourvu de sa pomme, en prenant la précaution de piocher préalablement la terre et de les effectuer à plusieurs reprises, pour que la terre puisse absorber toute l'eau qu'elle reçoit. On sait qu'il est indispensable de n'employer que des eaux stagnantes, ou à la même température que la terre, parce que l'emploi des eaux qui auraient une température différente s'opposerait à la végétation. Il est aussi indispensable de n'ar-

roser que le matin, ou mieux le soir, lorsque le soleil est un peu élevé au-dessus de l'horizon, pour ne pas endurcir la surface de la terre, comme cela arrive lorsqu'on arrose par un soleil très-chaud, ou lorsque le temps n'est pas couvert.

FIN.



Gravé par Amb.se Tardieu

HDI
HW 27G1 A

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.